

فِيسِيُولُوجِيَا النَّبَاتِ

تأليف

دكتور اسماعيل ندا

بكالوريوس في الزراعة (القاهرة)

ماجستير في الزراعة (القاهرة)

دكتوراه في الفلسفة (القاهرة)

أستاذ مساعد ، قسم النبات الزراعى

كلية الزراعة — جامعة عين شمس

دكتور حسين سعيد

دبلوم الكلية الامبراطورية (لندن)

دكتوراه في الفلسفة (كمبردج)

دكتوراه في العلوم (القاهرة)

أستاذ الفسيولوجيا ورئيس قسم النبات

كلية العلوم — جامعة القاهرة

الناشر

مكتبة الانجلو المصرية

٢٦٥ شارع محمد فريد بالقاهرة

حقوق الطبع محفوظة للؤلئين

المطبعة التجارية الحديثة

٣٠ شارع الشيخ فخر بالكافى ، مصر

فِيسِيُولُوجِيَا النَّبَاتِ

تأليف

دكتور عيسى بن نورا

بكالوريوس في الزراعة (القاهرة)
ماجستير في الزراعة (القاهرة)
دكتوراه في الفلسفة (القاهرة)
أستاذ مساعد . قسم النبات الزراعى
كلية الزراعة — جامعة عين شمس

دكتور حسين بن عبد

دبلوم الكلية الامبراطورية (لندن)
دكتوراه في الفلسفة (كيردج)
دكتوراه في العلوم (القاهرة)

المسئول التبيولوجيا ورئيس قسم النبات
BIBLIOTHECA ALEXANDRINA
مكتبة العلوم مشيئة جامعة القاهرة

تسجيل ٤٢١٤٣

الناشر

مكتبة الانجاء المصرية

١٦٥ شارع محمد فريد بالقاهرة

حقوق الطبع محفوظة للؤلئين

المطبعة الخيرية
بمصر

مقدمة الطبعة الثانية

بسم الله الرحمن الرحيم

وبعد ، فهذه هى الطبعة الثانية من كتاب فسيولوجيا النبات نقدمها لطلاب العلم بعد أن أدخلنا على الطبعة الأولى كثيراً من التعديلات والنظريات الحديثة التى ظهرت حتى الآن . والله نسأل أن يحقق الغاية التى وضع من أجلها .

المؤلفان

ديسمبر سنة ١٩٥٥

مقدمة الطبعة الأولى

علم فسيولوجيا النبات — أو وظائف أعضاء النبات — هو العلم الذى يفسر لنا ظواهر الحياة فى النباتات على ضوء ما عرفناه من علوم الكيمياء والطبيعة . . . وتقتضى دراسة هذا العلم الإلمام التام بتشرح النباتات .

ولهذا العلم ارتباط كبير بجميع فروع علم النبات . فمثلاً علم البيئة ، الذى يرمى إلى دراسة علاقة النبات بالبيئة التى ينمو فيها ، ما هو فى الواقع إلا دراسة لفسيولوجيا النبات .

ولدراسة هذا العلم أهمية خاصة للمستغلين بعلم أمراض النباتات حيث يفيد كثيراً فى معرفة العلاقة الفسيولوجية بين العائل والطفيل .

وتزداد أهمية هذا العلم للمستغلين بعلوم الزراعة — كزراعة الثنائيات وصناعة وحفظ المواد الغذائية وكثير من الصناعات التى تعتمد على منتجات المزرعة كصناعة القطن والكتان والمطاط والشاى والسكر .

والله نسأل أن يفيد بهذا الكتاب المشتغلين بالعلوم الزراعية والعلوم البحتة . .

المؤلفان

أكتوبر سنة ١٩٥٣

المحتويات

صفحة

١	الباب الأول - الخلية النباتية
٩	الباب الثاني - الحالة الغروية للبروتوبلازم
٢٤	الباب الثالث - الأزموزية
٣٠	الباب الرابع - الخلية النباتية وعلاقتها بالماء
٦٢	الباب الخامس - التنح
٨٠	الباب السادس - تغذية الخلية النباتية
٩٩	الباب السابع - تغذية النبات
١١٢	الباب الثامن - الأنزيمات
١٣٨	الباب التاسع - التحول الغذائي (الأيض)
١٤٠	الفصل الأول - البناء
١٨٥	الفصل الثاني - الهدم
٢٢٠	الباب العاشر - انتقال المواد الذاتية
٢٢٥	الباب الحادي عشر - انبات البنودر
٢٣٤	الباب الثاني عشر - النمو
٢٤٤	الباب الثالث عشر - الهرمونات النباتية
٢٦٠	الباب الرابع عشر - الحركة والاحساس في النبات



الباب الأول

الخلية النباتية

The Plant Cell



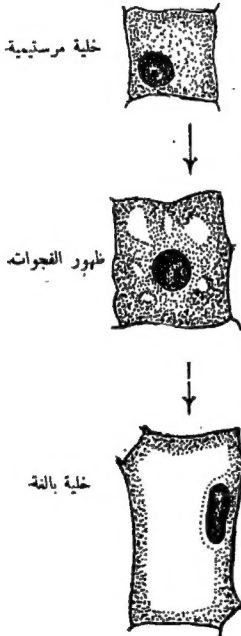
يتركب جسم النبات من وحدات صغيرة متراسة تعرف الواحدة منها بالخلية .
وتتمتاز الخلية النباتية بأنها مضلعة وأن لها جداراً غير حى يحدها من الخارج وهي
فى ذلك تخالف الخلية الحيوانية .

والخلية النباتية فى الغالب صغيرة ميكروسكوبية ويستعمل فى قياسها الميكرون
(وهو $\frac{1}{1000}$ من المليمتر) الا أن هناك بعض الخلايا النباتية تكون من الكبر
بحيث يمكن رؤيتها بالعين المجردة مثل خلايا طحلب النيتلا *Nitella* اذ يبلغ طول خلية
بضع سنتيمترات .

ويوجد داخل جدار الخلية مادة شفافة نوعاً لزجة تعرف بالبروتوبلازم تملأ
غراخ الخلية فى طورها الأول (الطور المرستيمى) وهذا البروتوبلازم يتركب من
غشاء بلازى حى وسيتوبلازم يملأ أكبر جزء من الخلية وهو سائل غروى لزج وله
جميع خواص الغرويات السائلة الحبة اللذيبة . ويحتوى السيتوبلازم على أجسام
معتمة أهمها النواة والبلاستيدات . كما أنه يوجد بالسيتوبلازم بعض المواد الغذائية
كحبيبات النشاء وبعض البلورات المعدنية والمواد البروتينية وفتة دهنية . ويفرز
السيتوبلازم مركبات خاصة تعرف بالإنزيمات *Enzymes* وتقوم بدور العامل المساعد
فى التفاعلات الكيميائية المختلفة التى تحدث داخل الخلية .

والنواة جسم كروى يفصله عن البروتوبلازم « الغشاء النووى » وتتركب النواة من
مادة غروية أيضاً ذات لزوجة أعلا من لزوجة السيتوبلازم . وهذا الغشاء النووى

منفذ للماء بدليل انتفاخ النواة كباقي الخلية عند وضعها في محاليل مخففة وانكماشها عند وضعها في محاليل متركزة أو ذات أزموزية عالية . وعلاوة على ذلك فقد أثبت التجارب أن الغشاء النووي منفذ للصبغات أيضاً . ويوجد داخل النواة الشبكة الكروماتينية وقد يشاهد داخل النواة جسم أو أجسام كروية تعرف بالنوية أو النويات.



وعند نمو الخلية المرستيمية الى خلية بالغة فإنها تزداد في الحجم والوزن نتيجة لامتصاصها كميات كبيرة من الماء بينما تظل كمية البروتوبلازم ثابتة تقريباً ، ويظهر في السيتوبلازم فجوات صغيرة تكون في مبدأ الأمر قليلة العدد الا أن عددها يتزايد بمضى الوقت ويكبر حجمها وينتهي الأمر بأن يتصل بعضها ببعض وتندمج مكونة فجوة كبيرة واحدة تشغل الوضع المركزي في الخلية وتسمى بالفجوة الخلوية Cell vacuole وتكون مملوءة بسائل رائق يعرف بالعصير الخلوي Cell sap. والنتيجة النهائية لشغل الفجوة مركز الخلية أن يدفع السيتوبلازم الى وضع محيطي يحميه غشاءان بلازميان أحدهما تحت الجدار الخلوي والآخر يحيط بالفجوة . (شكل ١) .

ويحتوى السيتوبلازم — كما قدمنا — على أجسام بروتوبلازمية أصغر في الحجم ، وأقم في اللون من النواة هي البلاستيدات Plastids التي تلعب دوراً هاماً في حياة النبات كما سيأتى في حينه . ويمكن تقسيم البلاستيدات الى ثلاثة أنواع هي البلاستيدات الخضراء والبلاستيدات الملونة والبلاستيدات عديمة اللون .

(شكل ١)
تحول الخلية المرستيمية
الى خلية بالغة

١ - البلاستيدات الخضراء The Chloroplastids

تحتوى هذه البلاستيدات غالباً على صبغة خضراء تعرف بالكلوروفيل Chlorophyll وتوجد هذه البلاستيدات دائماً في الخلايا المعرضة لضوء الشمس، وتتميز هذه البلاستيدات في النباتات الراقية بصغر حجمها وكثرة عددها واستدارتها أو يكون لها شكل العدسة المحدبة الوجهين . أما في الطحالب فتكون أكبر حجماً وأقل عدداً كما هو الحال في طحلب الاسبيروجيرا *Spirogyra* حيث يوجد بلاستيدة خضراء واحدة أو اثنتين على الأكثر على شكل شريط حلزوني في كل خلية . وأهم وظيفة لهذه البلاستيدات الخضراء هي بناء المواد الكربوهيدراتية من الماء وثنائي أكسيد الكربون في وجود الضوء . وأن أهم ما يمتاز به النبات على الحيوان هي قدرة النبات على بناء مواد عضوية من مواد غير عضوية . الأمر الذي لم يكن ليحدث لو خلت خلاياها من هذه البلاستيدات الخضراء .

ب - البلاستيدات عديمة اللون The Leucoplastids

ويكثر وجود هذه البلاستيدات في الخلايا البعيدة عن الضوء، ويبدو أن هذه البلاستيدات هي الأصل إذ أنها قادرة على التحول إلى بلاستيدات خضراء أو إلى بلاستيدات ملونة . ولهذا النوع من البلاستيدات وظيفة أخرى وهي أنها تصبح مراكز لتكوين وتخزين النشاء من السكريات .

ج - البلاستيدات الملونة The Chromoplastids

تحتوى هذه البلاستيدات على مواد ملونة صفراء وبرتقالية وحمراء ويكثر وجودها في بتلات الأزهار الملونة وفي بعض الثمار ولم يعرف إلى الآن على وجه التحديد وظيفة هذه البلاستيدات في النبات إلا أن ألوانها الزاهية التي تنكسها للأزهار لما يلتفت نظر الحشرات فتزورها بحثاً عن الرحيق وبذا تتلقح هذه الأزهار عرضاً .

والدليل على امكان تحول البلاستيدات من نوع إلى آخر ما نشاهده في ثمرة الطماطم

إذ أنها تبدو وهي صغيرة خالية من اللون تقريباً ومملوءة بالبلاستيدات عديمة اللون ثم لا تلبث أن يخضر لونها عندما تكبر وتعرض لضوء الشمس لامتلائها بالبلاستيدات الخضراء . وعندما تدخل في طور النضج يتحول لونها تدريجياً إلى اللون الأحمر لتحول بلاستيدات الخضراء إلى بلاستيدات ملونة .

منشأ البلاستيدات :

هناك رأيان وضعا لتفسير منشأ البلاستيدات في الخلية :

الأول : أن البلاستيدات تنشأ مباشرة من السيتوبلازم وأنها تضمحل وتلاشى عند نضج البذور .

أما الثاني : فيرى أنها لا تنشأ من السيتوبلازم بل أن لها وجوداً مستقلاً في الخلية وأنها تسكاثر بالانقسام ثم تنتقل من جيل إلى جيل . ويرى أصحاب هذا الرأي الأخير أن البلاستيدات تنتقل إلى الجنين ثم تظل كامنة حتى إذا ما نبتت البذور يتزايد عددها بالانقسام وبذا يتوافر عددها وتوزع على الخلايا .

الغشاء البلازمي Plasma Membrane

المقصود بالغشاء البلازمي أنه هو الغشاء السطحي الرقيق الذي يحيط كتلة السيتوبلازم وله درجات مختلفة من النفاذية بالنسبة للمواد المختلفة . ففي الخلايا المرستيمية الصغيرة يوجد غشاء واحد يطن الجدار الخلوي من الداخل ، أما في الخلايا الكبيرة البالغة والتي تكونت بداخلها الفجوة فإنه يتكون بالإضافة إلى الغشاء الأول غشاء ثان يغلف الفجوة . وقد أطلق De Vries لفظي الاكتوبلاست Ectoplast والتونوبلاست Tonoplast على الغشائين الخارجى والداخلى على الترتيب ، غير أن هذه التسمية أصبحت قديمة وغير معمول بها الآن .

وليس من السهل إمكان رؤية هذين الغشائين في كثير من الخلايا ولكن هناك من الأدلة المبينة على المشاهدة والفحص الميكروسكوبى الدقيق ما يثبت وجودهما .

طبيعة الغشاء البلازمي .

وضعت نظريات كثيرة الغرض منها محاولة الوصول إلى معرفة تركيب وطبيعة الأغشية البلازمية ، غير أن أحداً من هذه الفروض لم يف هذا الغرض .

وأقرب هذه الفروض إلى الصحة ما اقترحه بروكس Brooks (١٩٢٩) من أن الغشاء البلازمي يجب أن يتصوره وقد تكون من الليبويد Lipoid (وهي مادة دهنية فسفورية) وقد اختلطت بطريقة موزاكية بأجزاء مختلفة ذات تركيب بروتيني وأن هذا الغشاء الذي يدخل في تركيبه البروتين يجب أن يكون رقيقاً حتى يسمح بنفوذ الكاتيونات من بعض أجزائه والأنيونات من أجزاء أخرى حسب نوع الشحنة الكهربائية التي يحملها أيون البروتين والتي يعينها الوسط الذي يتأين فيه . أما الأجزاء الليبويديّة من الغشاء فإنها تصبح أما كن لدخول المواد الدهنية والمواد المذابة لها .

وبهذا النظام الذي اقترحه بروكس أصبح من السهل تفسير نفاذية المواد المختلفة خلال الغشاء البلازمي نفاذاً استقلالياً بالنسبة للمواد المتأينة والمواد غير المتأينة حيث أصبح لهما طريقتان مستتلتان في الغشاء البلازمي أحدهما مائي Aqueous والثاني زيتي Oily .

يمكننا الآن أن نتصور الخلية ولها غشاءان بلازميان : أحدهما يبطن الجدار الخلوي من الداخل ويعرف بالغشاء البلازمي الخارجي والآخر يغلف الفجوة العصارية ويعرف بالغشاء البلازمي الداخلي ويحصران بينهما طبقة رقيقة شفافة هي السيتوبلازم (شكل ٢)

الجدار الخلوي Cell wall

عند بدء انقسام الخلية تترسب مادة بكتينات الكالسيوم مكونة ما يعرف بالصفائح الوسطية Middle lamella يفرضها السيتوبلازم ليحدد مكان انقسام الخلية إلى خليتين متجاورتين ، وترسب على جانبي هذه الصفائح الوسطية مواد يفرضها

السيوبلازم أهمها مادة كربوايدراتية تعرف بالسليولوز Cellulose مكونة بذلك الجدار الخلوى غير الحى وقد يختلط السليولوز بمركبات أخرى كاللجنين Lignin الذى يترسب بكثرة على جدر الأوعية الخشبية . وقد يختلط مع اللجنين مادة أخرى هى الهيميسليولوز Hemicellulose فى سوق القمح والشعير . وقد يكون الهيميسليولوز جميع الجدار الخلوى فى خلايا بعض النباتات كما فى اندوسپرم أو جنين نبات البن والترمس والبلح ، وفى جميع هذه الحالات يعتبر الهيميسليولوز غذاءاً كربوايدراتياً مدخراً يتحلل إلى سكريات يستعملها النبات إذا دعت الحاجة إلى ذلك .

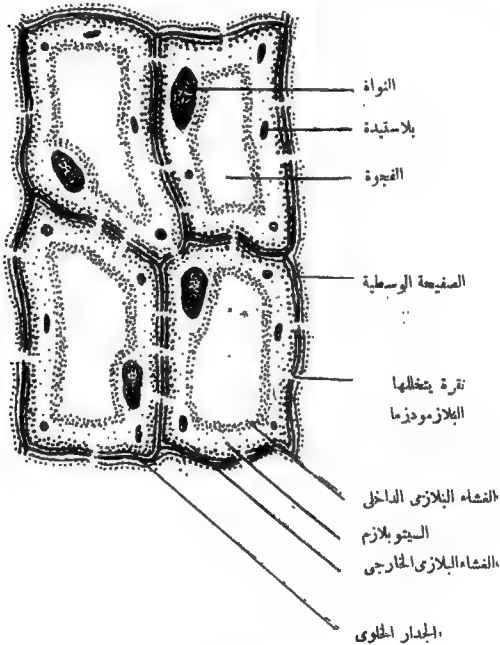
كل هذه المواد السابقة لا تمنع نفاذ الماء . إلا أن هناك مواد قد تختلط بالجدار وتجعله غير منفذ للماء ومن أمثلتها السوبرين Suberin والكيوتين Cutin . وتكثر مادة السوبرين فى خلايا الفلين بينما تغطى مادة الكيوتين الجدر الخارجية لخلايا البشرة . وقد يكون الكيوتين منفذاً للماء إذا كانت طبقة رقيقة خصوصاً فى حالة خلايا الأوراق الحديثة ولكن سرعان ما تقل هذه النفاذية ثم تنعدم عندما تترام منه كميات أكبر على جدر الخلايا .

وعلاوة على المواد السابق ذكرها فقد تختلط مادة الجدار بمواد أخرى من أمثلتها المواد الراتنجية والصمغ والثنات والدهون والزيوت والطور والمواد البروتينية والمواد الملونة وغيرها من الأملاح غير العضوية . ويتوقف وجود هذه المواد على نوع النبات والظروف المعرض إليها والبيئة التى ينمو فيها .

ويعتبر الجدار الخلوى من الوجهة الطبيعية فى حالة غروية معقدة من النوع المعروف بالـ Gel ومن خصائص هذه الحالة قدرتها على التشبع بكميات كبيرة من الماء دون أن ينوب الجدار فى هذا الماء . مثل هذه الخاصية تعرف بخاصية التشرب Imbibition وتُشاهد عند غمر قطع من الخشب أو البذور الجافة فى الماء حيث تنتفخ ويزيد حجمها ويصحب هذه الزيادة فى الحجم انطلاق قدر معين من الحرارة لم يعرف سبب انطلاقها حتى الآن على وجه التحقيق بل إن عملية التشرب نفسها لا زالت غامضة . وبفضل عملية التشرب هذه يستمر انتقال الماء من خلية إلى خلية . وتختلف قدرة

الجدر الخلوية على التشرب بالماء باختلاف درجة نفاذيتها . فالجدر التي تحتوي على مقادير من السكيتوتين أو السوبرين تقل قدرتها على التشرب وتقل بالتالى قدرتها على النفاذية . أما الجدر المصنوعة من مادة السليولوز والبكتين والبتوزات فإن مقدرتها على التشرب كبيرة وتعتبر أكثر الجدر نفاذية .

ويتخلل الجدار الخلوى فتحات تعرف بالنقر Pits لتصل ما بين سيتوبلازم الخلايا المتجاورة بواسطة خيوط سيتوبلازمية تمر من هذه الفتحات وتسمى بالبلازمودزما Plasmodesma (شكل ٢)



(شكل ٢)

التركيب الكيماوى للبروتوبلازم وظاهرة الحياة :

يحتوى البروتوبلازم من الوجهة الكيماوية على نسبة كبيرة من الماء التى تختلف باختلاف العضو النباتى . فهى فى أجنة البذور الجافة تتراوح بين ١٠ — ١٥ ٪ ، بينما ترتفع هذه النسبة إلى ٨٠ — ٩٠ ٪ فى الأجزاء الخضرية النامية . أما المادة الجافة والمتبقية بعد التجفيف فأغلبها يتكون من مواد بروتينية وكربوهيدراتية مختلطة ببعض الدهون والأملاح .

ولا يمكن أن تعزى ظاهرة الحياة فى البروتوبلازم إلى احتوائه على المواد السابق ذكرها بدليل أننا لو مزجناها ببعضها وبنفس النسب الموجودة عليها فى البروتوبلازم فإنه لا يظهر لها أى نشاط حيوى . وهذا يدل دلالة قاطعة على أن ظاهرة الحياة إنما تعزى إلى عمليات التنظيم التى يقوم بها البروتوبلازم . ويحدث فى سيتوبلازم الخلية عمليات كيميائية وطبيعية مختلفة ومناقض بعضها للبعض ، ومع ذلك تحدث فى السيتوبلازم جنباً إلى جنب . فالتنفس — وهو أحد عوامل الهدم فى النبات — يحدث جنباً إلى جنب وفى نفس الوقت مع التمثيل الضوئى الذى يعتبر أهم عمليات البناء فى النبات . ومن ذلك نرى أنه لا بد أن تكون العمليتان منفصلتان عن بعضهما وأن لكل عملية منهما عوامل خاصة وشروط لا بد من توافرها لكي تتم . وهناك رأيان لتفسير ظاهرة الحياة فى البروتوبلازم :

أولهما أنه لا بد من وجود جزيء من مادة حية ، ربما كان من أنواع البروتينات . وبديهي أنه عند قتل برتوبلازم أى خلية لتحليلها كيميائياً فإن هذا الجزيء الحى يقتل وبذلك لا يظهر لنا فى التحليل الكيماوى إلا المواد البروتينية التى نعرف صفاتها وخواصها .

ثانيهما أن تركيب البروتوبلازم الحى هو ما نعر عليه فعلاً بعد قتله وتحليله كيميائياً . وفى هذه الحالة يجب أن تصور أن هذه المواد لا بد وأن تكون مرتبة فى البروتوبلازم ترتيباً خاصاً ولا يعرف هذا الترتيب إلا الخالق جلّت قدرته وأن هذا الترتيب الخاص يتلف عند استخلاص المواد المركبة للبروتوبلازم لتعريفها كيميائياً .

الباب الثاني

الحالة الغروية للبروتوبلازم

The Colloidal State of the Protoplasm

في عام ١٨٦١ أطلق جراهام Graham على المواد التي تنفذ في ورق البارشمته (كالسكر والأملاح) لفظ « البلوريات » Crystalloids وعلى المواد التي لا تنفذ منه كالجيلاتين والنشاء والقراء لفظ « الغرويات » Colloids . والذي دعاه إلى هذه التسمية أنه لاحظ أن البلوريات سهلة التبلور في محاليلها بينما لا يحدث مثل ذلك للغرويات . غير أن هذا التقسيم لم يلبث أن اتضح خطؤه إذ تمكن الكيميائيون فيما بعد من تحضير أى مادة بصورة بلورية أو بصورة غروية حسب طريقة تحضيرها وأصبح لفظ الغرويات أو البلوريات لا يطالمان إلا على الحالة التي توجد عليها المادة وليس على المادة بصفة مطلقة . وتعتبر المادة على حالة غروية إذا كانت وحداتها المنتشرة أكبر في الحجم من الجزيئات ولكنها من الصغر بحيث يصعب أن تترسب من تلقاء نفسها في مذيبتها . ولما كانت المحاليل الغروية هي أحد أنواع المحاليل الطبيعية لذا لزم أن نعرف شيئاً عن المحاليل .

تقسيم المحاليل :

تنقسم المحاليل بالنسبة إلى حالة وجود المادة الذائبة في المادة المذيبة وعلاقة كل منهما بالآخر إلى الأقسام الثلاثة الآتية :

١ — المحلول الحقيقي True solution وفيه تنجز المادة في السائل إلى جزيئات وقد تحلل الجزيئات في أغلب الأحيان إلى أيونات وتكون الوحدات التي تنجزها إليها المادة من الدقة بحيث لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة ولا بأية وسيلة أخرى من

وسائل الإبصار وقد قدر قطر هذه الوحدات بحوالى $\frac{1}{100,000}$ من المليمتر .
وهذه الدقائق تظل منتثرة في المذيب (الذى قد يكون ماء أو أى سائل آخر) ولا
ترسب بمضى الوقت ومن أمثلتها محلول سكر القصب في الماء ومحلول كلورور
الصوديوم في الماء .

٢ — المعلق والمستحلب Suspension and Emulsion وهنا لا تتأثر المادة
بالسائل عند خلطها به ، فإذا خلط الرمل بالماء أو الزيت بالماء فإن الأول سرعان
ما يرسب بينما يطفو الثاني على سطح الماء . وهنا تكون الوحدات التى تتجزأ لها
المادة من الكبر بحيث يمكن رؤيتها بالمجهر . وقد قدر قطر هذه الوحدات بأكثر من
 $\frac{1}{100}$ من المليمتر .

٣ — المحاليل الغروية Colloidal solutions وهنا تتجزأ المادة إلى وحدات
تقع وسطاً بين الوحدات التى تجزأت إليها المادة في المحاليل الحقيقية والتى تجزأت
إليها في المعلقةات والمستحلبات فتكون الوحدات هنا من بحورات من الجزيئات
المتجمعة وتظل هذه الوحدات منتثرة في محاليلها ولا ترسب أبداً من تلقاء نفسها كما
أنها تكون من الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها بالميكروسكوب إلا أنه يمكن رؤية
بعض خواصها الضوئية بطرق خاصة سيأتى ذكرها . ومن أمثلة المحاليل الغروية
محلول ايدروكسيد الحديدك الغروى ومحلول الجيلاتين في الماء .

وعند الكلام على الغرويات يحسن أن نسمى المادة المذيبة « بالطور المستمر »
Continuous phase أو « وسط الانتثار » Dispersion medium والمادة الذائبة
« بالطور المنتثر » Dispersed phase

مفاهيم الغرويات :

يمكن تحويل المادة من الحالة الموجودة عليها إلى الحالة الغروية إما بتجميع
جزيئات المادة إلى وحدات تتكون من جملة جزيئات وتسمى هذه الطريقة بالكشف

Condensation ولما بتجزئة وحدات المادة الكبيرة حتى تصل إلى حجم الوحدة الغروية وتعرف هذه الطريقة بالتجزئة Dispersion .

وتشابه عملية التكتيف عملية ترسيب المادة في التفاعلات الكيماوية . فلتحضير مادة غروية بطريقة التكتيف يشبع المحلول بالمادة الذائبة إلى درجة فوق التشبع ثم يترك بعض الوقت فنلاحظ تكوّن بمجموعات جزيئية تاخذ في الكبر تدريجياً . فإذا تركت وشأنها فإنها تصل إلى درجة من الكبر بحيث تثقل وترسب في القاع . أما إذا أريد الحصول عليها على الحالة الغروية فإنه بواسطة بعض المعاملات الخاصة يمكن إيقاف كبر المجموعة الجزيئية عندما تصل إلى حجم الوحدة الغروية .

وتحضر معظم الغرويات غير العضوية بطريقة التكتيف التي تشمل عمليات التفاعل المزدوج والتحليل المائي والأكسدة والاختزال . فمثلا عندما يعامل محلول مخفف من أكسيد الزرنيخ بكبريتور الأيدروجين يحدث تفاعل مزدوج ويتكون كبريتور الزرنيخ الغروي .

وعند غلى محلول مخفف من كلورور الحديدك أو عند صب محلوله في ماء يغلي يتكون محلول غروي من أيدروكسيد الحديدك .

وإذا عومل محلول مخفف من كلورور أى معدن (وليكن كلورور الذهب) بالفورمالدهيد بشروط خاصة اختزلت أيونات المعدن إلى ذرات لا تلبث أن تتجمع لتكون وحدات غروية من المعدن المستعمل .

وتشمل عمليات التجزئة في تحضير المحاليل الغروية طحن المادة أو تفتيتها تفتيتاً آلياً بواسطة طواحين خاصة تعرف بالطواحين الغروية . وفي هذه الحالات يجب تنظيم عملية الطحن حتى يصل حجمها إلى حجم الوحدة الغروية . كما تشمل عمليات التجزئة أيضاً استعمال أنزيمات الهضم أو تحويل هذه المواد إلى حالة مستحلبة .

وقد استعمل جراهام أنزيمات الهضم في تحضير محلول غروي من زلال البيض المتجمد عندما أضاف إليه أنزيم الببسين Pepsin وقليل من حامض الكلورديريك وقد أطلق على هذه العملية Peptization

وعند إضافة قليل من الزيت إلى الماء في أنبوبة اختبار فإنه عند ائرج نحصل على ما يسمى بالمستحلب المؤقت ذلك لأنه إذا ترك بعض الوقت تجمعت قطرات الزيت واتحدت وطففت على سطح الماء وانفصل المستحلب إلى مكوناته الرئيسية . أما إذا أضيف إلى الماء مادة من شأنها أن تقلل الجذب السطحي للباء أو للزيت أو لسكليهما فإن الزيت يظل مجزأ ولا يميل إلى التجمع ويتكون مستحلب ثابت على حالة غروية .

تقسيم الغرويات : Classification of Colloids

تنقسم الغرويات إلى قسمين رئيسيين : -

القسم الأول : وتسمى بالغرويات الكارهة لوسط الانتثار Lyophobic

Colloids ذلك لأنه لا توجد قابلية بين دقائقها أو وحداتها المنتشرة وبين دقائق وسط الانتثار . فإذا كان وسط الانتثار ماء سميت كارهة للباء Hydrophobic Colloids وتسمى أيضا شبه المعلقات Suspensoids ولا تختلف لزوجة مثل هذه الغرويات كثيراً عن لزوجة وسط الانتثار وتحمل دقائقها شحنات كهربائية كلها من نوع واحد وهذا هو سبب بقائها منتثرة في وسط الانتثار دون أن ترسب . لذلك فإنها تترسب بسرعة عند إضافة محلول الكتروليتي مخفف إليها وإذا ما ترسب هذا النوع من الغرويات فإنه لا يمكن إعادته بالطرق الطبيعية إلى الحالة الغروية ولذا تسمى بالغرويات الغير عكسية Irreversible Colloids ومن أمثلتها إيدروكسيد الحديدك الغروي .

أما سبب ترسب هذا النوع من الغرويات بسهولة عند إضافة محاليل الكتروليتية مخففة فيرجع إما لأن الشحنة المضادة في المحلول الألكتروليتي تعادل شحنة الدقيقة الغروية أو تقللها إلى حد لا يمنع من تجاذب الدقائق لتكون مجاميع كبيرة تثقل لسكرها وترسب . وكلما زاد تكافؤ الأيون المستعمل في الترسيب في المحلول الألكتروليتي زادت قدرته في الترسيب . فكلورور الألومنيوم أسرع في ترسيب كبريتور الزرنيخ من كلورور الباريوم ، وكلورور الباريوم أسرع من كلورور الصوديوم في الترسيب وذلك لاختلافه في التكافؤ .

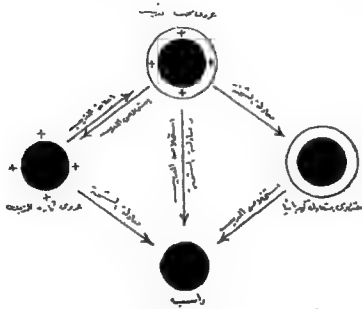
القسم الثاني : وتسمى بالغرويات الحبة لوسط الانتثار Lyophilic Colloids ذلك لأنه توجد قابلية كبيرة بين دقائقها المنتثرة وبين دقائق وسط الانتثار وتسمى أيضاً بشبه المستحلبات Emulsoids ومن أمثلتها محلول الجلوتين والآجار والنشاء والصمغ والغراء وزلال البيض . ودرجة لزوجة هذه المحاليل أكبر بوجه عام من لزوجة وسط الانتثار .

تتحمل الدقائق المنتثرة لهذا النوع من المحاليل الغروية بشحنات كهربائية كلها أيضاً من نوع واحد ويمكن تغيير نوعها بتغيير حموضة أو قلوية المحلول . وتحتاج مثل هذه المحاليل الغروية إلى كميات كبيرة من الألكتروليتات ليتم ترسيبها ولكن بعد ترسيبها يمكن إعادة ثابته إلى الحالة الغروية بإضافة مذيب نقي (كالماء مثلاً إذا كان وسط الانتثار ماءً) ولذا تسمى بالغرويات العكسية Reversible colloids

ويعزى ثبات هذا النوع من المحاليل الغروية وعدم ترسيبها بسهولة إلى سببين : الأول هو تحمل وحداتها بالشحنة الكهربائية كما أسلفنا والثاني هو تغلف الدقائق بأغلفة كثيرة من وسط الانتثار لذلك لا يكفي لترسيب مثل هذا النوع من الغرويات إضافة محاليل ألكتروليتية مخففة لمعادلة شحنة دقائقها الكهربائية فإنها بالرغم من ذلك تظل منتثرة وفي حالة غروية بل يجب أيضاً إضافة مادة مخففة كالكحول لتنتزع هذه الأغلفة التي حول الدقائق وبذلك يتم ترسيبها . غير أنه يمكن معادلة الشحنة وإزالة الأغشية بعملية واحدة وهي إضافة محلول الكتروليتي مركز جداً أو على شكل جسم صلب مثل كبريتات النشادر التي تقوم بمعادلة الشحنة الكهربائية التي على الدقائق الغروية وفي نفس الوقت تقوم بدور العامل المجفف وبنزع الأغلفة المحيطة بالدقيقة الغروية فتترسب . والرسم الآتي يبين نوعي الدقائق الغروية والعلاقة بينهما وطرق ترسيبهما (شكل ٣) .

ويتغير قوام الغرويات الحبة لوسط الانتثار من السيولة إلى الصلابة والعكس بتغير درجة الحرارة وتركيز وسط الانتثار وغيرهما من العوامل . فإذا وضع محلول

غروى من هذا النوع كمحلول الجيلاتين في أنبوبة وسط مخلوط مبرد تصلب إلى قوام جراج يعرف بالـ Gel . فإذا أعيد تسخينه تحول إلى محلول غروى سائل ويسمى Sol وتسمى ظاهرة التجمد بالبرودة والسيولة بالحرارة بظاهرة انعكاس الأطوار .

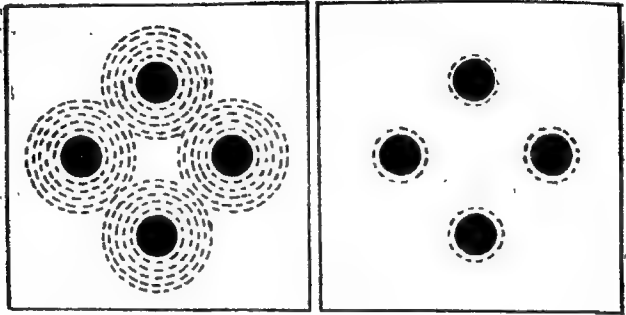


(شكل ٣)

ترسيب الدقائق الغروية بنوعها

والسبب في تصلب محلول الجلاتين بالتبريد وسيولته بالتسخين أن الماء يوجد على صورتين في هذه الأنواع من المحاليل الغروية : على صورة ماء حر Free Water وهو الذى يكون وسط الانتشار في حالة السيولة ، والماء المرتبط Bound Water وهو الماء الذى يغلف الحبيبات الغروية في الطور المترسب (لأنها من النوع المحب لوسط الانتشار) فعند التبريد يتحول أكثر الماء الحر إلى ماء مرتبط حول الدقائق الغروية فتقل نسبته وتكتسب الحالة صفة الصلابة . أما عند التسخين فإن أكثر الماء المرتبط يترك الحبيبات الغروية إلى وسط الانتشار فتزداد نسبة الماء الحر وتكتسب الحالة صفة السيولة (شكل ٤) .

ويسمى هذا النوع من انعكاس الأطوار بانعكاس الأطوار السكامل . إلا أن هناك نوع آخر منه يسمى بانعكاس الأطوار الناقص . فمثلا زلال البيض يتجمد



(١) (شكل ٤) سيولة الجيلاتين وتصلبه (ب)

١ — نسبة الماء الحر هي الغالبة وتكتسب الحالة صفة السيولة

ب — نسبة الماء للربط هي الغالبة وتكتسب الحالة صفة الصلابة

بالسخن ولا يعود إلى السيولة بالتبريد لذلك يسمى تجمد زلال البيض 'تجمداً'.
Coagulation لاختلاف العملية عن عملية تجمد محلول الجيلاتين بالتبريد التي تسمى
'تجمداً' Gellation

ومن خصائص الغرويات المتصلبة Gels ميلها إلى التشرب بكميات كبيرة من الماء
ويعتبر الجيلاتين مثلاً صحيحاً لإثبات هذه الظاهرة ويشترك مع الجيلاتين في ظاهرة
التشرب Imbibition الخشب وحبيبات النشاء، وتترتب كميات الماء الممتصة حول
الدقائق الغروية على شكل أغلفة يتزايد عددها كلما امتصت قدراً أكبر من الماء
ويترتب على ذلك ابعاد جزيئات المادة الممتربة عن بعضها وهنا يتداخل عامل آخر
يحدد من تباعد الوحدات هو الجاذبية بينها وبين بعضها . فإذا كانت هذه الجاذبية
كبيرة وضعت حداً لتراكم الأغلفة المائية فلا تمتص منها المادة إلا قدراً معيناً كما في
حالة الخشب ويظل الخشب محتفظاً بشكله العام سوى زيادة طفيفة طرأت عليه، بينما
تتباعد وحدات الجيلاتين عن بعضها كلما مكثت أكثر في الماء حتى ينتهي بها الأمر .



إلى التحول إلى محلول غروى لضالة المجاذبية
والتماسك بين وحداته بالنسبة إلى قوة التشرب
الهائلة (شكل ٥)



(شكل ٥)

بعض الخواص العامة للمعانة الغروية

لا تتوقف خواص المحاليل الغروية على
تركيبها الكيماوى بل تتوقف على حالتها
الطبيعية وأهم خواص الحالة الغروية ما يأتى :

(١) الانتشار خلال الأغشية .

Diffusibility through membranes

١ - جزيئات الخشب تتشرب بالماء بدرجة
محدودة

للمحاليل الغروية ضغوط اسموزية ب - جزيئات الجيلاتين تتشرب بالماء بدرجة
منخفضة ودرجة انتشارها فى أغشية البارشمنت غير محدودة

والمكلوديون والأغشية الحيوانية تكاد تكون معدومة ، ولقد استغلت هذه الظاهرة
لفصل الشوائب البلورية من المحاليل الغروية وتسمى هذه العملية بعملية الفصل
الغشائى Dialysis ويستعمل لذلك جهاز يسمى بجهاز الفصل الغشائى Dialyser يتكون
فى أبسط صورته من كيس مصنوع من أحد المواد السابقة ويوضع داخل الكيس
المحلول الغروى بما فيه من الشوائب البلورية ويغمر فى ماء مقطر متجدد فتنتشر المواد
الذائبة البلورية إلى الخارج باستمرار ويظل فى الداخل المحلول الغروى فى حالة نقية .
ويرجع السبب فى عدم نفاذ اللقائن الغروية خلال الأغشية إلى كبر حجم وحداتها
بالنسبة إلى فتحات أو ثغوب الغشاء .

ويمكن تحضير هذه الأغشية بدرجات متفاوتة من النفاذية التى تتوقف على سعة
ثغوبها فمثلا يمكن تحضير أغشية متفاوتة فى درجة نفاذيتها من المكلوديون - فالأغشية
المجففة فى الهواء ذات نفاذية منخفضة جدا أى ذات ثغوب ضيقة جداً ولكن عند
معاملة مثل هذه الأغشية بالكحول بتركيزات مختلفة ثم غسلها بالماء تزداد درجة
نفاذيتها ، وكلما زاد تركيز الكحول كلما زادت النفاذية .

(٣) ظاهرة تندال Tyndall phenomenon

هى إحدى الظواهر الضوئية التى يستعان بها للفرقة بين المحلول الغروى والحقيقى ويمكن ملاحظتها إذا أدخل خيط من الضوء فى غرفة مظلمة ثم أثير الغبار فى هذه الغرفة فإن ذرات الغبار السابحة فى فضاء الغرفة تبدو مضاءة إذا مرت فى مسار الضوء . فإذا استبدل جو الغرفة بالإناء من الزجاج يحتوى على محلول غروى وسلط ضوء قوى على أحد جوانبه فإن مسار الضوء يبدو واضحاً غائماً فى المحلول الغروى الذى يبدو برائتاً فى غير المنطقة المضاءة . وتفسير ذلك أنه عندما تصطدم أشعة الضوء بالدقائق الغروية فإن الأشعة الضوئية تبعثر وتستقطب وهذا ما يعبر عنه بظاهرة تندال . وحيث أنه يحدث للضوء فى هذه الحالات أن تنحرف الموجات القصيرة (وهى الموجات الزرقاء) بدرجة أكبر من انحراف الموجات الطويلة (وهى الموجات الحمراء) فإن الطيف الضوئى يتفصل انفصالاً جزئياً وهذا ما يشاهد عند إمرار شعاع ضوئى فى محلول غروى يكون فيه الطور المنتثر عديم اللون كمحلول النشاء الغروى فى الماء فإن المحلول يبدو أزرقاً باهتاً إذا سلط عليه الضوء من الجانب أما إذا استبدل المحلول الغروى فى الإناء بمحلول حقيقى جيد التحضير وأمرر الشعاع الضوئى فيه فإن مسار الضوء فى هذا المحلول لا يمكن رؤيته ذلك لأن جزيئات أو أيونات المادة الذائبة فى المحلول الحقيقى تكون من الصغر بحيث لا تعكس الضوء الساقط عليها .

(٤) الحركة البراونية Brownian movement

يمكن مشاهدة هذه الظاهرة بوضوح بواسطة الميكروسكوب اللانهاى Ultramicroscope ويتخلف هذا الميكروسكوب عن الميكروسكوب العادى فى أن سجل الفحص فيه مظلماً وأن مصدر الضوء هنا جانبياً وتستعمل فيه لوحة خاصة للفحص تعرف بالشريحة ذات القاع المجوف Hollow-ground slide يوضع فى تجويفها المحلول الغروى (ويفضل أن يكون من النوع السكره لوسط الانتثار مثل أليدروكسيد الحديدىك الغروى أو الحبر الصينى المخفف بالماء) ثم يسلط الضوء الجانبى بحيث تتحرك حزمته المحلول الموضوع فى التجويف . فإذا نظرنا فى عينية

الميكروسكوب فإننا نرى نقطاً لامعة كثيرة الحركة والاهتزاز وكل نقطة منها هي عبارة عن ظل دقيقة غروية . أما الاهتزاز والحركة التي تسمى بالحركة البراونية (نسبة إلى روبرت براون سنة ١٨٢٧) فتعزى إلى دفع جزيئات وسط الانتثار للدقائق الغروية دفعاً غير منتظم في كل اتجاه . وبما هو جدير بالملاحظة أن رفع درجة حرارة السائل الغروى يزيد من الحركة البراونية لدقائقه الغروية نظراً إلى زيادة الطاقة الحركية لجزيئات وسط الانتثار .

(٤) الشحنات الكهربائية Electric Charges

تحمل الدقائق الغروية شحنات كهربائية تكون موزعة على سطحها السكلى ولا تكون قاصرة على ذراتها . هذه الشحنات الكهربائية قد تكون من النوع الموجب في نوع من الغرويات مثل ايدروكسيد الألومنيوم والحديدك والكروم وبعض الأصباغ القاعدية كأزرق الميثيلين ، وقد تكون من النوع السالب في أنواع أخرى من الغرويات مثل محاليل الفضة والذهب وكبريتور الزرنيخ وبعض الأصباغ الحامضية كاحمر الكونغو Congo Red وكذلك الطين الغروى .

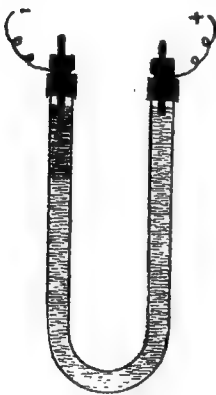
وتحمل الكائنات الحية الدقيقة شحنات كهربائية . فمثلاً خلايا البكتريا والطحلب من النوع الوحيد الخلية وجراثيم فطر عيش الغراب Mushroom وكذلك كرات الدم تحمل كلها شحنات كهربائية من النوع السالب .

أما سبب وجود الشحنات الكهربائية على الدقائق الغروية فيعزى إلى أنه نظراً إلى نشاط أسطح الدقائق الغروية المنتشرة فإن الماء الملامس لهذه الأسطح في وسط الانتثار يتأين إلى أيونات الايدروجين الموجبة والايدروكسيل السالبة . وبعض هذه الدقائق يجذب إلى سطحه الايدروجين فتكتسب بذلك شحنته الموجبة كما هو الحال في وايدروكسيد الحديدك . وقد تجذب دقائق بعض الغرويات إلى سطحها الايدروكسيل فتصبح بذلك سالبة الشحنة مثل كبريتور الزرنيخ ، وفي كلتا الحالتين يظل الأيون المتروك مكوناً غلافاً محيطاً بسطح الدقيقه الغروية . وفي حالة إضافة محلول الكتروليتي تتعادل شحنات الدقائق الغروية مع الأيونات المضادة في المحلول

الالكتروليتي بينما تعادل شحنات الأيون الآخر في المحلول الكتروليتي مع الأيونات المخلفة للذئقة الغروية .

فثلا عند إضافة محلول كلورور الصوديوم إلى حالة ايدروكسيد الحديدك الغروية فإن أيونات الكلورور السالبة تنجذب إلى دقائق ايدروكسيد الحديدك الموجبة فعادل شحنها وتعمل على ترسيبها ، بينما تعادل أيونات الصوديوم الموجبة أيونات الايدروكسيل السالبة التي كانت تغلف الدقائق الغروية .

ويمكن إثبات وجود الشحنات الكهربائيّة وتحديد نوعها إذا وضع المحلول الغروي في مجال كهربائي فتتحرك الدقائق الغروية المنتثرة إلى أحد القطبين الكهربائيين حسب نوع الشحنة الكهربائيّة التي تحملها هذه الدقائق . فثلا عند إمرار تيار كهربائي في



محلول غروي من النوع السالب مثل كبريتور الزرنيخ فإن الدقائق تتجه كلها إلى القطب الموجب ، أما إذا استبدل بمحلول غروي من النوع الموجب وليكن ايدروكسيد الحديدك فإن الدقائق تتحرك إلى القطب السالب ويطلق على عملية انتقال دقائق الغرويات إلى أحد القطبين الكهربائيين بظاهرة الحمل الكهربائي Cataphoresis (شكل ٦)

ويمكن تعيين نوع الشحنة الكهربائيّة للمحلول الغروي باستعمال ورق الترشيح الخالي من الرماد Ashless filter paper فإذا وضعت نقطة من محلول أزرق الميثيلين (وهو موجب الشحنة) على ورقة

الترشيح تجدد أن جزيئات الصبغة انتشرت مع الماء بينما إذا استعمل محلول أحمر الكونغو (وهو سالب الشحنة) فإن جزيئات الصبغة لا تنتشر

(شكل ٦)

جهاز لتعيين نوع الشحنة على الدقائق الغروية . لاحظ انجذاب الدقائق الغروية الموجبة إلى القطب السالب مع الماء بل تظل في مكانها وينتشر الماء بمفرده . وتعليل ذلك أن ورقة الترشيح

تكتسب شحنة سالبة عندما تبطل بالماء . وحيث أن جزيئات أزرق الميثيلين موجبة الشحنة فإنه يحدث تجاذب بين جزيئاتها وجزيئات ورقة الترشيح فتنتشر المادة الملونة مع الماء . أما في حالة أحمر الكونفو فإن جزيئاتها السالبة تنافر مع جزيئات ورقة الترشيح وينتشر الماء بمفرده تاركاً الصبغة في مكانها .

ونظراً إلى الحساسية الشديدة للحاليل الغروية للكارهة لوسط الانتثار (شبه المعالقات) Suspensoids للحاليل الالكتروليتيية المخففة فإن ذلك يفسر لنا كيف تكونت دلتا الانهار عند التقاء مائها العذب المحمل بالطين الغروي بمياه البحار المحتوية على أملاح متنوعة ذائبة ، فعند التقائهما تتعادل شحنات الطين الغروي السالبة مع الأيونات المضادة في الشحنة فيترسب الطين وتكون الدلتا .

أما الحاليل الغروية من النوع المحب لوسط الانتثار (شبه المستحلبات) Emulsoids فهي أقل حساسية في استجابتها للترسيب بالحاليل الالكتروليتيية . فإذا أضيف محلول شبه مستحلب إلى محلول شبه معلق غروي فإن ذلك يسبب صعوبة ترسيب شبيه المعلق نظراً إلى إحاطة دقائقه بدقائق شبه المستحلب الذي يسمى في هذه الحالة « بالغروي الحافظ » Protective colloid وقد استغلت ظاهرة الحفظ للغرويات شبه المستحلبة في صناعة ألواح التصوير الفوتوغرافي . فإذا أضيف محلول من برومور البوتاسيوم إلى محلول من نترات الفضة فإنه يتكون راسب كبير الحبيبات لا يصلح لتغطية ألواح التصوير . أما إذا أضيف محلول الجيلاتين إلى محلول برومور البوتاسيوم قبل إضافة محلول نترات الفضة فإنه يتكون راسب غروي متجانس ووحدانه من الدقة بحيث تناسب هذا الغرض تماماً .

(٥) التجمع السطحي Adsorption

تتماز الحاليل الغروية بعظم الأسطح المعرضة منها بالنسبة إلى دقائقها الصغيرة المنتثرة . ومن المعروف أن الأسطح الفاصلة بين طوران لا يمتزجان كالماء والهواء أو الماء والاثير تعاني نوعاً من التوتر السطحي يسمى بالتوتر البيني وتزداد قيمة هذه

القوة زيادة كبيرة جداً في المحاليل الغروية لعظم الأسطح الفاصلة بين الطور المنتشر ووسط الانتثار ، وتميل جزيئات المواد المختلطة بالمحاليل الغروية إلى التكاثر على أسطح الدقائق الغروية وهذا ما يعبر عنه بخاصية التجمع السطحي للغرويات . لذلك تعتبر الغرويات من أحسن العوامل المساعدة لأنها تساعد على تلاصق المواد المتفاعلة على أسطحها بخاصية التجمع السطحي .

وتتأثر عملية التجمع السطحي بدرجة كبيرة بوجود الالكترونوليتات . فإذا غمست قطعة من ورق الترشيح العادي في محلول غروي سالب الشحنة (كأملاح الكونفو) فإن ورقة الترشيح تصبغ باللون الأحمر بينما إذا غمست ورقة الترشيح من النوع الخالي من الرامد (النقي) هذه المعاملة فإنها لا تصبغ إطلاقاً إلا إذا أضيف إلى محلول الصبغة محلولاً متعادلاً من كلورور الصوديوم . وتفسير ذلك أن ورق الترشيح النقي يكتسب شحنة سالبة إذا ابتل بالماء وعلى ذلك فإن جزيئاته تتنافر مع جزيئات الصبغة السالبة . أما في وجود الكتروليت (أو الرامد الموجود في ورق الترشيح العادي) فإن الشحنة السالبة لورق الترشيح تعادل مع الأيونات الموجبة للكتروليت وعندئذ تتجمع دقائق أملاح الكونفو مجتمعاً سطحياً على ورقة الترشيح وتصبغها .

ولخاصية التجمع السطحي أثر كبير في حياتنا الاقتصادية إذ تستعمل في ترويق المحاليل الملونة . فإذا خلط محلول ملون خلطاً جيداً بمسحوق الفحم الحيواني ورشح الخليط فإن المترشح يبدو رائعاً عديم اللون . وقد استخدمت هذه الظاهرة في ترويق المحاليل السكرية التي يحضر منها السكر . كما أن من خصائص الفحم الحيواني امتصاص الغازات بنفس النظرية ، لذلك يستعمل في ملء الكمامات . كما أن كثيراً من عمليات الزراعة والصباغة توقف على خاصية التجمع السطحي .

الانتشار Diffusion

إذا أُلقيت قطعة من كبريتات النحاس في مخبر مملوء بالماء فإنه يلاحظ بعد مدة تلون الماء في الجزء السفلي من المخبر باللون الأزرق ذلك لأن كبريتات النحاس قد

ذابت في الماء المحيط بها، فإذا ترك المخبار بعض الوقت أخذ اللون الأزرق في الانتال تدريجياً من أسفل إلى أعلى في طبقات متتالية نخف في زرقها كلما اتجهنا إلى أعلى المخبار ثم تلاشى الفرق في لون الطبقات تدريجياً بمضي الوقت إلى أن تصبح درجة التلون كلها واحدة أى أن المادة الذائبة أو المنتشرة أصبحت في حالة اتزان .

عندما ذابت كبريتات النحاس في الماء الذي في أسفل المخبار كونت محلولاً حقيقياً أى أنها انحلت إلى أيونات مستقل بعضها عن البعض ولها القدرة على التحرك في جميع الاتجاهات ، وحيث أن تركيز هذه الأيونات في قاع المخبار أعلى منه في طبقاته العليا فإن سرعة انتقال الأيونات من أسفل إلى أعلى تكون أكبر من سرعة انتقالها من أعلى إلى أسفل . وتستمر هذه الحالة حتى يتساوى تركيز الأيونات المنتشرة في جميع أجزاء المحلول .

ونسمى حركة الأيونات في المحلول « بالانتشار » ويكون تحركها بفعل طاقتها الحركية محاولة أن تتوزع توزيعاً منتظماً في حين الانتشار .

فإذا ألقينا في مثلنا السابق بلورة من سكر القصب مع بلورة من كبريتات النحاس فإن بلورة السكر تذوب في ماء المخبار مكونة محلولاً جزئياً من سكر القصب وتأخذ جزيئات السكر في الانتقال من أسفل المخبار إلى أعلاه أى من نقطة تركيز جزيئات السكر فيها عالية إلى نقطة يكون تركيز جزيئات السكر فيها أقل ، أى أنها تنتشر هي الأخرى بنفس النظام الذي انتشرت به أيونات كبريتات النحاس كأنها لم تكن موجودة في المحلول وذلك إذا اعتبرنا أن جزيئات المواد الأخرى المنتشرة لا تؤثر في معدل حركتها . ويلاحظ أيضاً أن جزيئات أو أيونات الذائب تنتشر مستقلة تماماً عن انتشار جزيئات السائل المذيب .

العوامل التي تؤثر في معدل انتشار المادة :

(١) تركيز المادة المنتشرة: تنتشر المواد من المنطقة التي يكون تركيزها عالياً

إلى منطقة أخرى يكون تركيزها فيها منخفضاً بمعدل أسرع من العكس .

(٢) حجم ووزن المادة المنتشرة : تتناسب سرعة الانتشار تناسباً عكسياً مع حجم الوحدة المنتشرة (الذرات أو الجزيئات) ومع الوزن الذرى أو الجزيئى للبادء المنتشرة فمثلاً تنتشر أيونات الایدروجين بمعدل أسرع من انتشار كل من الأوكسيجين وثانى أوكسيد الكربون ذلك لأن أيونات الایدروجين أصغر حجماً من أيونات كل من الأوكسيجين وثانى أوكسيد الكربون. كما أن أيونات الكلور أسرع فى الانتشار من أيونات الحديد لأن الوزن الذرى للأولى (٣٥,٥) أصغر من الوزن الذرى للثانية (٥٥,٨) . وإذا تساوت الوحدات المنتشرة فى الحجم واختلفت فى الوزن فإن أثقلها وزناً أبطأها انتشاراً .

(٣) درجة الحرارة : تزداد الطاقة الحركية للوحدات المنتشرة برفع درجة الحرارة فيزداد معدل انتشارها . ذلك لأنه فى التفاعلات الكيماوية إذا رفعت درجة حرارة المواد المتفاعلة عشرة درجات مئوية فإن سرعة التفاعل الكيماوى تتضاعف أو تزيد إلى ثلاثة أمثال سرعتها الأولى ، أما فى التفاعلات الطبيعية - كالإنتشار - فإن رفع درجة الحرارة بنفس القيمة يزيد سرعتها ١,٢ إلى ١,٣ من سرعتها الأولى . وتسمى هذه الزيادة بالمعامل الحرارى Temperature coefficient .



الباب الثالث

الازموزية او الانتشار الغشائي للسوائل

Osmosis



كان Abbé Noliet عام ١٨٤٨ أول من لاحظ ظاهرة الازموزية عندما ملأ مثانة خنزير بالكحول ثم ربط فوهتها وألقاها في الماء فلاحظ انتفاخها بدرجة كبيرة قاربت الانفجار . وعندما أعاد التجربة بطريقة مبدئية بمكبسة بأن. ملأ المثانة بالماء ثم وضعها بعد ربطها في الكحول انكشفت المثانة بدرجة كبيرة . أهملت هذه النتائج زهاء القرن حتى أجرى Dutrochet تجاربه على الازموزية فلاحظ أنه عندما ملأ المثانة بمحلول ملحي أو سكري ووضعها في الماء أن الماء ينتقل من الوسط الخارجي (الماء النقي) بمعدل أسرع من انتقاله من الداخل (المحلول الملحي أو السكري) وترتب على ذلك ازدياد حجم المحلول في المثانة محدثاً ضغطاً على الجدران الداخلية للمثانة . وحيث أن هذا الضغط نشأ عن دخول الماء إلى المحلول فقد أطلق عليه « الضغط الازموزي للمحلول » ولا يقاس إلا عندما يحدث حالة الاتزان، ويبطل دخول الماء إلى داخل الكيس .

وبما تجب ملاحظته أن الازموزية لا يمكن مشاهدتها إلا إذا كان الكيس من الأغشية التي تنفذ المذيب بدرجة أكبر من المادة الذائبة .

والأغشية بالنسبة إلى قابلية إنفاذها للواد تنقسم إلى ثلاثة أقسام ::

١ — إذا سمح الغشاء لجزيئات المادة الذائبة والمذيب بالإنفاذ خلاله. سمي غشاء

منفذاً Permeable membrane مثل ورق التوشيع .

ب — إذا سمح الغشاء لجزيئات المذيب ولم يسمح لجزيئات المادة الذائبة بالإنفاذ.

سمي الغشاء شبه منفذ Semi-permeable membrane

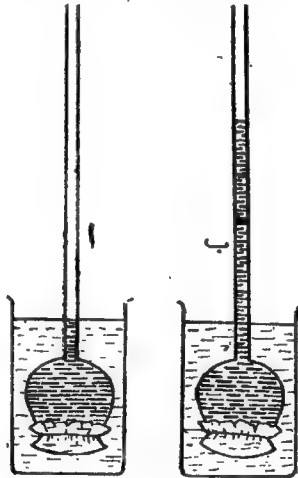
ج — أما إذا لم يسمح لجزيئاتهما بالإنفاذ فإنه يصبح غير منفذ Impermeable

membrane

ولا يجب عند وصف الغشاء ذكر نوع نفاذيته فقط ، فقد يكون الغشاء غير منفذ لمادة ولكنه منفذ لمادة أخرى . لذلك فإنه يجب عند وصف نفاذية الغشاء ذكر نوع المادة التي ينفذها أو لا ينفذها .

والأغشية منها ما هو طبيعي كالثانة الحيوانية وجدر الخلية ومنها ما هو صناعي كورق السيلوفان والبارشمنت وغشاء الكلوديون .

وهناك أجهزة كثيرة تستعمل لقياس الأزموزية أبسطها قمع ثيسل المعروف Thistle-funnel ذى الساق الطويلة بعد أن يربط على فوهته قطعة من ورق السيلوفان رباطاً محكم (شكل ٧) وهناك أيضاً كيس الكلوديون ويستخدم في عمل الأزموسكوب Osmoscope بأن يملأ الكيس بمحلول ملحي أو سكري ويغمر في الماء بحيث يتساوى



(شكل ٧)

أ - في مبدأ التجربة كان سطح المحلول داخل القمع مساو له في الكأس
ب - بعد انتهاء التجربة - لاحظ ارتفاع المحلول وثباته في القمع

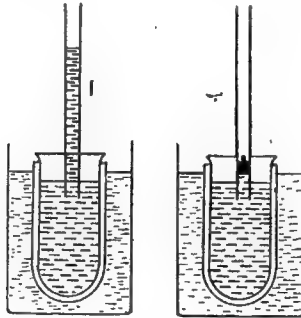
سطح المحلول في الداخل مع سطح الماء في الخارج بعد أن يكون قد ربط على فوهة الكيس أنبوبة زجاجية مفتوحة ثم يترك الكيس بعض الوقت فيشاهد ارتفاع السائل تدريجياً في الساق الزجاجية حتى يأتي الوقت الذي يتمتع فيه السائل عن الارتفاع عندئذ يكون قد حدث الانزان ويكون ثقل عمود السائل قد ضغط على سطح الغشاء الداخلي بقوة تساوى القوة التي يدخل بها الماء من الخارج وهي قوة الضغط الأزموزي للمحلول . ويلاحظ أن هذه الأغشية ليست شبيهة منفذة تماماً لأنه إذا تركت التجربة بعض الوقت فإن عمود الماء يهبط ثانية .

وأحسن الأغشية شبه المنفذة هو المصنوع من مادة حديد وسيانور النحاس لأنه يتمتع السكريات والألاح منعاً باتاً من النفاذ خلاله ويحضر بتفاعل محلول حديد وسيانور البوتاسيوم مع محلول كبريتات النحاس . والعيب الوحيد لهذا الغشاء هو سهولة كسره وعدم تحمله الضغوط الأزموزية العالية ولكن يمكن التغلب على هذه الصعوبة بترسيب هذا الغشاء في مسام إناء خزفي خاص . والطريقة أن يملأ الوعاء الخزفي بالماء حتى تشرب جميع مسامه ثم يفرغ من الماء ويملأ بمحلول كبريتات النحاس (٢,٥ جم في اللتر) ثم يغمر الوعاء إلى عنقه في محلول من حديد وسيانور البوتاسيوم (٢ جم في اللتر) ثم يترك كذلك لبضع ساعات . فعندما يتلاقى السائلان في مسام الوعاء الخزفي يترسب الغشاء داخل المسام ويكون الغشاء رقيقاً ولكنه يتحمل ضغطاً عالية نظراً إلى قوته التي اكتسبها من الوعاء الخزفي . بعد ذلك يغسل الوعاء غسلاً جيداً ويملأ بالمحلول المراد قياس ضغطه الأزموزي وليكن محلولاً سكرياً مثلاً ثم تسد فوهة الوعاء بشدาด محكم من المطاط تخترقه أنبوبة زجاجية فإذا وضع الوعاء في ماء نقي فإن الماء ينفذ إلى داخل الوعاء بمعدل أسرع من خروجه (خضوعاً لقوانين الانتشار) ويستمر الارتفاع في ساق التجمع إلى أن يصل إلى نقطة يظل عندها ارتفاع العمود ثابتاً لمدة أيام عندئذ يكون ضغط عمود السائل مساوياً للضغط الأزموزي لهذا المحلول السكري المحضر . وقد أمكن بهذا الجهاز إثبات أن الضغط الأزموزي لأي محلول يتناسب طردياً مع درجة تركيزه والجدول الآتي يبين هذه العلاقة :

التركيز	الضغط الأزموزي (سم من الزئبق)	التركيز بالجرام في كل ١٠٠ جم من الماء
٥٣,٨	٥٢,٨	١
٥٠,٨	١٠١,٦	٢
٥٢,٢	٢٠٨,٢	٤
٥١,٣	٣٠٧,٥	٦

ويلاحظ من هذا الجدول أن النسب المئوية في العمود الأخير ثابتة تقريبا مع التجاوز عن الخطأ التجريبي .

على أنه إذا وضع ثقل معادل لقوة الضغط الأزموزي للمحلول السكري المستعمل فوق سطح السائل في الأنبوبة المتصلة بالوعاء الخزفي فإن هذا الثقل يمنع ارتفاع السائل في الأنبوبة الزجاجية ، وعلى ضوء هذه التجربة فإنه يمكن تعريف الضغط الأزموزي بالضغط اللازم لتسليطه على محلول ذو تركيز ما لمنع ازدياده في الحجم .
نتيجة انتقال الماء إليه . (شكل ٨)



(١) (ب) (شكل ٨)

(١) ارتفع السائل في الساق بقوة الضغط الأزموزي (ب) لم يرتفع السائل عندما وضع ثقل على سطح السائل في الساق مساو لقوة الضغط الأزموزي للمحلول الداخل في مبدأ التجربة

أما إذا استعمل في هذه التجربة غشاء منفذاً لكل من جزيئات الماء والسكر فإن عمود السائل يرتفع ارتفاعاً مبدئياً ثم لا يلبث أن ينخفض ليساوى سطحه في الداخل سطح الماء في الخارج . والسبب في هذا الارتفاع المبدئى هو أن الطاقة الحركية لجزيئات الماء أكبر منها لجزيئات السكر فيكون انتقال جزيئات الماء للدخل أسرع من انتقال جزيئات السكر إلى الخارج ، ولكن بمضى الوقت وبتسرب جزيئات السكر تدريجياً إلى الخارج يتساوى تركيزها في الداخل والخارج وتلاشى الزيادة الطارئة في حجم المحلول وينخفض سطحه إلى وضعه الطبيعى .

وحيث أن قيمة الضغط الأزموزى تتوقف على عدد الدقائق الموجودة في حجم معين من المحلول فإن الضغط الأزموزى للمحلول الغروى يكون أقل من الضغط الأزموزى للمحلول الحقيقى من سكر القصب بفرض تساوى درجة تركيز المحلولين السابقين . كذلك فإن قيمة الضغط الأزموزى للمحلول السكرى تكون أقل منها في حالة محلول كلورور الصوديوم بفرض تساوى تركيزهما كذلك .

وتفسير ذلك أنه في حالة المحلول الغروى تتربك دقائقه من تجمع عدد كبير من جزيئات المادة . فلو فرضنا أن عدد جزيئات المحلول كانت ١٠٠ جزء - قبل أن يكون غروباً . وأنه لسي يكون غروباً يجب أن تجمع كل عشرة جزيئات لتصبح دقيقة غروية فإن المحلول الغروى الناتج يحتوى على عشرة دقائق في حين أن المحلول السكرى لا يزال يحتوى على ١٠٠ جزء - لأن له نفس التركيز . أما في حالة محلول كلورور الصوديوم فنظراً لأنه محلول الكتروليتى فإن جزيئاته لا تبقى على حالتها الطبيعية . كما في محلول السكر بل تتأين في المحلول ويكون التأين بمعدل ٧٥ ٪ وعلى ذلك يصبح عدد الدقائق في محلول كلورور الصوديوم المساوى للمحلولين السابقين في التركيز ١٧٥ دقيقة وهذا هو السبب في ارتفاع قيمة الضغط الأزموزى للمحاليل الحقيقية المتأينة عن المحاليل الأخرى غير المتأينة والغروية .

وإذا أذيب الوزن الجزيقى لمادة غير متأينة في لتر من الماء أعطت ضغطاً أزموزياً قدره ٢٢,٤ ضغطاً جويماً في درجة الصفر المئوى تماماً كما في حالة الغازات فإن الوزن

الجزئى لآى غاز فى درجة الصفر وتحت الضغط الجوى العادى يشغل حيزاً قدره ٢٢,٤ لترأ فإذا ضغط هذا الغاز ليشغل حيزاً قدره لترأ واحداً فإن ضغطه يزداد إلى ٢٢,٤ ضغطاً جويأ .

أما فى حالة المحاليل المتأينة كما فى حالة محلول كلورور الصوديوم السابق الإشارة إليه فإن ضغطه الازموزى يصبح $٢٢,٤ \times ١,٧٥ = ٣٩,٢$ ضغطاً جويأ .

ويمكن قياس الضغط الازموزى لآى محلول بطريقة قياس ارتفاع عمود الماء (أو الزئبق) وتحويله إلى ضغوط جوية . إلا أن هذه الطريقة من الدقة بحيث تحتاج إلى احتياطات خاصة واختبارات دقيقة لمرونة الغشاء . لذلك رؤى الاستعاضة عنها بتقدير قيمة الضغط الازموزى للمحاليل بطرق طبيعية وهى ارتفاع درجة غليانها وانخفاض درجة تجمدها . فإذا علمنا أن قيمة خفض درجة التجمد لمحلول جزئى لمادة غير متأينة هو $١,٨٦$ درجة مئوية ، وأن الضغط الازموزى لهذا المحلول يعادل ٢٢,٤ ضغطاً جويأ ، أصبح من السهل إيجاد العلاقة بين خفض درجة التجمد والضغط الازموزى

$$\frac{٢٢,٤ \times \text{قيمة الخفض فى درجة التجمد}}{١,٨٦} = \text{الضغط الازموزى}$$



الباب الرابع

الخلية النباتية وعلاقتها بالماء

The Water Relations and Plant Cell.



أهمية الماء للنبات :

يعتبر الماء من أهم مكونات النبات لأنه أساسى فى تكوين البروتوبلازم وهو المادة الحية الأساسية فى جميع الكائنات الحية وتتضح أهميته من دراسة النقاط الآتية :

١ — يكون الماء الطور الناثر الذى تنتشر فيه دقائق المادة التى يتكون منها البروتوبلازم فإذا انعدم الماء جف البروتوبلازم ووقفت جميع العمليات الطبيعية والكىماوية والحيوية التى تنتج عنها ظاهرة الحياة .

٢ — يدخل الماء فى تركيب جسم النبات بنسب تختلف باختلاف النبات وباختلاف أجزائها فقد تصل نسبته إلى ٩٥ ٪ من الوزن الرطب Fresh weight فى الأجزاء الغضة العصارية . وفى مواضع التخزين كالسوق والجذور الدرنية من ٦٥ — ٧٠ ٪ وفى الأجزاء الخشبية كالسوق من ٤٠ — ٥٠ ٪ أما فى البذور الجافة فلا تتعدى نسبته ١٢ ٪

٣ — الماء ضرورى لتكوين جزىء الكربوهيدرات فى النبات نتيجة لعملية التمثيل الكربونى. فباتحاد الماء مع نائى أكسيد الكربون ومع وجود المادة الخضراء وبمساعدة الطاقة المستمدة من ضوء الشمس يبنى النبات المركبات الكربوهيدراتية .

٤ — الماء ضرورى لإتمام كثير من العمليات الكىماوية التى تحدث داخل الخلية والتى تقوم بها الإنزيمات . فإنزيم الإنفرتيز مثلاً يلزمه جزىء من الماء لى يحلل سكر القصب إلى الجلوكوز والفركتوز طبقاً للبعادلة :

ك^{١٣} بد^{١١١} + بد^١ ← ك^{١٣} بد^{١١١} + ك^{١٣} بد^{١١١} (جلوكوز) + ك^{١٣} بد^{١١١} (فركتوز)
 ٥ — الماء هو الوسط الوحيد الذى تذاب فيه الأملاح التى يمتصها النبات
 لإستعمالها فى بناء جسمه وكذلك تذاب فيه جميع المواد التى تتنقل فى النبات من خلية
 إلى أخرى، ولا بد للنبات من كميات وافرة منه لىكى يؤدي وظائفه ولا بد لذلك من
 أن تصل نسبته فى النبات إلى درجة التشبع .

٦ — وهو ضرورى للأجزاء الغضة الحديثة الخالية من الأنسجة الدعامية
 كأطراف السيقان والجذور الحديثة فإذا ما دخل الماء إلى خلاياها امتلأت فجواتها
 العصارية وتزندت واستقامت جذرها فإذا منع الماء عنها تراخت أطرافها وانحنت
 لفقد الماء .

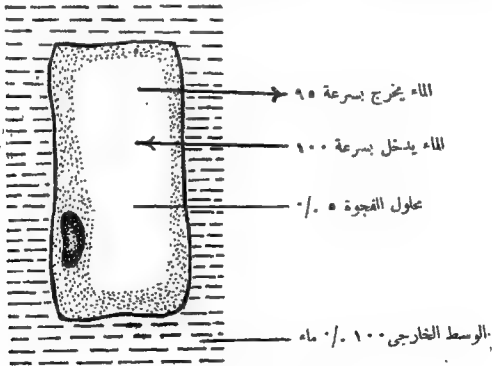
٧ — ونظراً لأن الغازات قابلة للذوبان فى الماء فإنها تدخل النبات وتخرج منه
 بسهولة عن طريق الماء الذى تمتصه جدر الخلايا السيلولوزية ، وذلك فى النباتات
 المائية بنوع خاص .

عمرفة الخلية بالماء :

قدمنا أن الخلية النباتية تحتوى على فجوة عسارية كبيرة مملوءة بمحلول من الماء .
 وبعض المواد الذائبة كالمسكرات والأملاح والأحماض العضوية مما يجعل المحلول
 الفجوة ضغطاً أزموزياً تختلف قيمته باختلاف كمية ونوع المواد الذائبة فيه .

ولكى تصور علاقة الخلية بالماء أو بالوسط الخارجى نفرض أن هناك خلية
 منفردة وأن هذه الخلية موضوعة فى سائل ما — هذا السائل إما أن يكون ماءً نقياً أو
 محلولاً مخففاً من الذائبات أقل تركيزاً من العصير الخلوى للفجوة ويسمى المحلول فى
 هذه الحالة بالمحلول ناقص التركيز أو ناقص الأزموزية Hypotonic أما إذا كان
 المحلول الخارجى أكثر تركيزاً من العصير الخلوى للفجوة سمي المحلول زائد التركيز
 أو زائد الأزموزية Hypertonic أما إذا تساوى تركيز المحلول الخارجى وتركيز
 العصير الخلوى سمي المحلول سوى التركيز أو سوى الأزموزية Isotonic

ولنفرض الآن أن الخلية موضوعة في ماء نقي وأن الغشاء البروتوبلازمي للخلية شبه منفذ حقيقى . هذا الغشاء البروتوبلازمي شبه المنفذ يفصل بين محلولين : أولهما الفجوة ومحلولها أكثر تركيزاً من الوسط الخارجى (الماء النقي) وثانيهما الماء النقي وهو ناقص التركيز بالنسبة لمحلول الفجوة . وعلى ذلك فكل ما يدخل الخلية إلى الفجوة أو كل ما يخرج منها لا بد أن يمر على الغشاء البروتوبلازمي شبه المنفذ . تظل المواد الذائبة في الفجوة بأقية داخل الخلية لأن الغشاء البروتوبلازمي لا يسمح لها بالانفاذ إلى الخارج . ولكنه يسمح لماء الفجوة بالانفاذ إلى الخارج كما يسمح للماء النقي بالوسط الخارجى بالانفاذ إلى داخل الفجوة . ولما كان تركيز الماء في الخارج (١٠٠ ٪) أعلا منه في الداخل (أقل من ١٠٠ ٪) فإن سرعة دخول الماء إلى الخلية تكون أكبر من سرعة خروجه منها طبقاً لقوانين الإلتشار ، ويترتب على ذلك زيادة حجم الفجوة العصارية نتيجة لدخول الماء إليها فيستخفف العصير الخلوى وتضغط الفجوة العصارية التى ازدادت في الحجم على الغشاء البروتوبلازمي فيتمدد ويستمر في التمدد .



(شكل ٩) .

خلية نباتية موضوعة في الماء

لاحظ أن الماء يدخل الخلية بمعدل أسرع من خروجه

حتى يلامس الجدار الخلوى فى النهاية ويضغط عليه . ولما كانت قابلية الجدار الخلوى للتمدد محدودة نظراً لقلة مرونته فإنه يضغط بدوره على الغشاء البروتوبلازمى ويعيق تمدده (شكل ٩) .

ويمكن تشبيه جدار الخلية الخلوى وغشائها البروتوبلازمى مع الفجوة بكرة القدم . فالسكرة غلاف خارجى وقابليته للتمدد محدودة لأنه مصنوع من الجلد ويقابل الجدار الخلوى فى مثلثا ، والأنبوبة الداخلية وقابليتها للتمدد غير محدودة لأنها مصنوعة من المطاط ، وتقابل فى مثلثا الغشاء البروتوبلازمى . أما الهواء الموجود داخل أنبوبة المطاط الداخلية فيمثل العصير الخلوى الموجود فى داخل الخلية ، والهواء الذى يضغط فى هذه الأنبوبة الداخلية يمثل الماء الذى يتدفق إلى داخل الخلية . ويزيد من حجمها إذا وضعت فى الماء النقي . وعلى ذلك فعندما يدفع الهواء إلى داخل الأنبوبة الداخلية فإنها تكون قبل دفعه غير ملاصقة للغلاف الخارجى وبعد دفعه تأخذ فى التمدد إلى أن تلامس الغلاف الخارجى فتضغط عليه ويضغط عليها ويحد من تمددها .

نعود الآن إلى الخلية التى دخل إليها الماء فتمدد الغشاء البروتوبلازمى حتى يلامس الجدار الخلوى ويضغط عليه . فلو كان هذا الجدار الخلوى ضعيفاً فإنه يتمزق أو ينفجر . كما يحدث عند وضع نبات من النباتات التى تعيش فى الماء المالح فى ماء عذب أو مقطر . أما إذا كان متيناً كما هو الحال فى النباتات الأرضية فإنه يقاوم الضغط الحادث من ضغط الغشاء البروتوبلازمى وكذلك يقاوم زيادة حجم السائل ويترتب على ذلك عدم دخول الماء إلى الخلية أكثر من ذلك وتكون قد امتصت من الماء أقصى ما يمكنها أن تمتصه .

وتعرف الخلية فى هذه الحالة بأنها متنفخة Turgid ويسمى ضغط الجدار عند الوصول إلى هذه الحالة بضغط الجدار Wall pressure

ومما تجب ملاحظته أنه عند الوصول إلى حالة الانتفاخ هذه يكون هناك ضغطان متضادان ومتعادلان . فهناك الضغط الأزموزى للعصير الخلوى الذى يعمل على

اجتذاب الماء من الخارج، وهناك ضغط الجدار الذي يحد من تمدد الجدار البروتوبلازى الذى يعمل على عدم ادخال الماء إلى داخل الخلية .

ويلاحظ أن الماء لم يدخل الخلية بقوة الضغط الأزموزى الابتدائى للعصير الفجوة ولم يدخل بقوة الضغط الأزموزى النهائى لها ، بل الواقع أنه دخل الخلية بقوة تساوى الفرق بين الضغطين ، وتعرف هذه القوة بقوة الامتصاص Suction force : وفيما يلى مثالا عددياً يبين قيمة هذه الضغوط :

إذا كان الضغط الأزموزى للعصير الخلوى للخلية فى أول الأمر وقبل وضعها فى الماء النقي مساوياً ١٠ ضغوط جوية فعند وضع هذه الخلية فى الماء فإنه يأخذ فى الانتشار خلال أغشية الخلية إلى الداخل فيترتب على ذلك زيادة حجم الفجوة العصارية وينقص تركيزها وبالتالي ينقص ضغطها الأزموزى . تستمر هذه الزيادة فى حجم الفجوة مع نقص فى ضغطها الأزموزى حتى تصل الخلية إلى حالة الامتلاء أو الانتفاخ . ولنفرض أن ضغطها الأزموزى قد أصبح ٨ ضغوط جوية بعد أن كان ١٠ ، فعند ذلك يكون ضغط الجدار الخلوى يساوى ٨ ضغوط جوية وهى نفس قيمة الضغط الأزموزى الجديد للعصير الخلوى .

من ذلك يتضح أنه عندما وصلت الخلية إلى هذه الحالة من الاتزان لم يصبح تركيز عصيرها الخلوى مساوياً لتركيز الوسط الخارجى لأنه لم يزل للخلية ضغط أزموزى ولم يزل الوسط الخارجى ماء وإنما يرجع سبب وقف دخول الماء إلى الخلية بالرغم من عدم تساوى التركيزات فى الداخل والخارج إلى سببين : أولهما خاصية الغشاء البروتوبلازى شبه المنفذ فلا يسمح لذائبات الفجوة بالتفاد ، وثانيهما تعادل الضغط الأزموزى للعصير الخلوى عند الاتزان مع ضغط الجدار للخلية أى إلى تعادل الضغوط المتعارضة فى الخلية . وتكون قوة الامتصاص - وهى القوة التى دخل بها الماء إلى للخلية - مساوية للفرق بين الضغط الأزموزى الابتدائى للفجوة والضغط الأزموزى النهائى أى أن :

قوة الإمتصاص = ١٠ - ٨

= ٢ ضغط جوى

فإذا رمزنا لقوة الامتصاص بالرمز ص والضغط الأزموزى للعصير الخلوى بالرمز صه والضغط الجدارى بالرمز ح فإن :

$$ص = صه - ح$$

وفى حالة انتفاخ الخلية تصبح ص = صفر أى أن صه = ح
هذا هو سلوك الخلية إذا كان الوسط الخارجى ماء نقياً . أما إذا كان الوسط الخارجى محلولاً له ضغط أزموزى معين وليكن ضغطاً جوياً واحداً ورمزنا له بالرمز صه فإن هذا الضغط الأزموزى الجديد للمحلول الخارجى يعمل مع الضغط الجدارى فى مقاومة دخول الماء إلى الخلية وعلى ذلك يكون :

$$ص = صه - (ح + صه)$$

$$= صه - ح - صه$$

وبالتعويض فى المعادلة الأخيرة بالقيم العديدة لهذه الضغوط يكون :

$$قوة الامتصاص = ١٠ - ٨ - ١$$

$$= ١ ضغطاً جوياً واحداً .$$

أى أن الخلية لا زالت قادرة على جلب الماء من الوسط الخارجى لأن قوة امتصاصها ما زالت موجبة .

عند بلوغ الخلية حالة الاتزان أى عند تمام امتلائها أو انتفاخها أى عند وقف دخول الماء فإن قوة الامتصاص تساوى صفراً من الضغوط الجوية أى أن :

$$صفر = صه - ح - صه$$

$$أو صه = ح + صه$$

أى أنه عند الوصول إلى حالة الاتزان يكون الضغط الأزموزى للخلية مساوياً للضغط الجدارى لها زائداً الضغط الأزموزى للمحلول الخارجى .

ولبيان ذلك نفرض أن الضغط الأزموزى للخلية قبل وضعها في المحلول كان ١٥ ضغطاً جويّاً وأن ضغطها الجدارى كان ضغطين جويين وأنها وضعت في محلول ضغطه الأزموزى يساوى ٩ ضغط جوية .

∴ قوة الامتصاص = الضغط الأزموزى الابتدائى — الضغط الجدارى —
الضغط الأزموزى للمحلول الخارجى

$$\text{أى أن} \quad \text{ص} = \text{ص} - \text{ح} - \text{ص} \quad \cdot$$

$$٩ - ٢ - ١٥ =$$

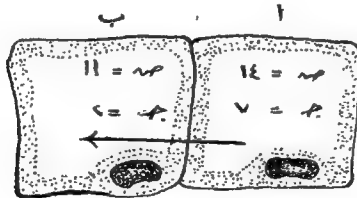
$$= ٤ \text{ ضغط جوية}$$

$$\text{وعند الاتزان يكون} \quad \text{ص} = \text{ح} + \text{ص}$$

$$\text{أى} \quad ٩ + \text{ح} = ١٥$$

$$\therefore \text{ح} = ١٥ - ٩ = ٦ \text{ ضغط جوية}$$

ولكى نوضح أن امتصاص الخلية للماء إنما يتوقف على قوة امتصاصها وليس على قيمة ضغطها الأزموزى، تصور خليتين ١ و ٢ وضعتا بحيث تتلاصق جدرهما فيسهل تبادل الماء بينهما وكانت قيمة الضغط الأزموزى للخلية ١ = ١٤ ضغطاً جويّاً في حين كان ضغطها الجدارى = ٧ ضغط جوية . أما الخلية ٢ فكان ضغطها الأزموزى والجدارى ١١ و ٢ ضغطاً جويّاً على الترتيب (شكل ١٠) .



(شكل ١٠)

وبين خليتين متجاورتين ويمتلئ السهم اتجاه الماء من الخلية (١) إلى الخلية (٢)

فلكى نعرف أى الخليتين تمتص ماءً من الأخرى بقدر قوة الامتصاص لكل منهما :

$$\text{ص (الخلية ١)} = ١٤ - ٧ = ٧ \text{ ضغطاً جويّاً .}$$

$$\text{ص (الخلية ب)} = ١١ - ٢ = ٩ \text{ ضغطاً جويّاً .}$$

فبالرغم من أن الخلية (١) كان ضغطها الأزموزى أعلى من الضغط الأزموزى للخلية (ب) إلا أن قوة الامتصاص للخلية (ب) أكبر منها للخلية (١) ومعنى هذا أن ينتقل من الخلية (١) إلى الخلية (ب) وليس كما يبدو من أول وهلة من أن الماء ينتقل من الخلية (ب) إلى الخلية (١) اعتماداً على أن الضغط الأزموزى للخلية (١) أعلى منه للخلية (ب) .

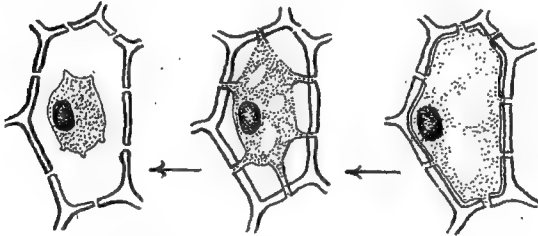
أما إذا غمست الخلية في محلول تركيزه أو ضغطه الأزموزى أكبر من الضغط الأزموزى للعصير الخلوى للخلية ، فإن الخلية لا توقف فقط عن امتصاص الماء بل إنها تفقد من ماء عصارتها الخلوية ماء البروتوبلازم فإذا فرضنا وكان الضغط الأزموزى للخلية ٨ ضغطاً جويّاً وأنها وضعت في محلول ضغطه الأزموزى ١٤ ضغطاً جويّاً فإن الماء يخرج من الخلية فينكش البروتوبلازم ويقل ضغط الجدار الخلوى عليه حتى يتعبد كلية وتصبح حـ في المعادلة السابقة = صفر .

$$\text{ص} = ٨ - \text{صفر} = ١٤$$

$$= ٦ \text{ ضغطاً جويّاً .}$$

أى أن للخلية قوة امتصاص سالبة ومعنى ذلك أن الماء يخرج من الخلية إلى الوسط الخارجى ويترب على ذلك أن يتمص حجم العصير الخلوى ويزداد تركيزه أى يزداد ضغطه الأزموزى وينكش البروتوبلازم وتكون الخلية في هذه الحالة مرتخية Flaccid فإذا ما استمر الماء في الخروج من الخلية بعد الوصول إلى حالة الارتخاء فإن الجدار البروتوبلازمى يساير هذا النقص في الماء لمروته فيأخذ في الانقصال التدريجى عن جدار الخلية - الذى لا يكاد يتأثر من هذه الحالة - ويكون انفصال الغشاء

البروتوبلازمى عن الجدار الخلوى إما جزئياً أو كلياً حسب درجة تركيز المحلول الخارجى. وعند الوصول إلى هذه الحالة تعتبر الخلية فى حالة بلزمة Plasmolysis وإذا كانت حالة الخلية قد وصلت إلى درجة شديدة من البلزمة أدت إلى انفصال البروتوبلازم انفصالاً كلياً عن الجدار الخلوى وتكوره حول الفجوة أدى ذلك إلى تقطع خيوط البلازموذيما التى تصل ما بين بروتوبلازم الخلايا وبعضها (شكل ١١).



(شكل ١١)

طريقة حدوث البلزمة - الخلية الأولى فى حالة طبيعية - الخلية الثانية ابتدأت فيها البلزمة . لاحظ انكماش السيتوبلازم وانفصاله عن الجدار الخلوى - الخلية الثالثة حدثت لها بلزمة شديدة فتقطعت خيوط البلازموذيما

أما إذا أعيدت الخلية المبلزمة إلى الماء النقي فإن الخلية تأخذ فى استرداد حالتها الأولى وتستعيد امتلاءها تدريجياً نتيجة لدخول الماء فيزداد حجم العصير الخلوى ويأخذ الغشاء البروتوبلازمى وضعه الطبيعى ، وكثيراً ما يعبر عن أولى خطوات امتصاص الخلية المبلزمة للماء بشفاء البلزمة Deplasmolysis

وإذا وضعت خلايا النبات فى محلول تركيزه أعلا قليلاً من تركيز الفجوة العنصرية فإنها تنبلم وتبقى مبلزمة مدة من الزمن تطول أو تقصر حسب الفرق من الضغطين الازموزيين للفجوة والمحلول الخارجى . على أنه خلال هذه الفترة تتمكن بعض الذائبات من النفاذ من المحلول الخارجى إلى داخل الخلية (نظرا لأن الغشاء

البلازمى يسمح بدخول هذه الذائبات ببطء) فينتج عن ذلك ازدياد الضغط الأزموزى بداخل الخلية ونقصه فى المحلول الخارجى ؛ وبناء على ذلك تبدأ الخلية فى استعادة بعض ما فقدته من الماء وتشفى من البلزمة .

لذا كان الضغط الأزموزى للمحلول المحيط بالخلية أعلا كثيراً من الضغط الأزموزى للفجوة العصارية فى خلايا النبات فإن البلزمة تحدث ، وتحاول الخلية زيادة ضغطها الأزموزى الداخلى بكل الطرق ولكنها تموت قبل أن تتمكن من موازنة الضغطين للتمكن من استعادة ماؤها . ويعزى موت الخلية لفقد البروتوبلازم لماته وبقائه على هذه الحالة مدة طويلة .

طرق تقدير قوة الامتصاص :

يستعمل لذلك طرق كثيرة أبسطها هو غمر قطع أو شرائح من النبات المطلوب معرفة قوة امتصاصه فى محلول من سكر القصب معروف ضغطه الأزموزى . ويدل التغير فى حجم أو وزن النبات بالزيادة أو بالنقص على قوة الامتصاص لخلاياه فتكون قوة الامتصاص مساوية لقيمة الضغط الأزموزى للمحلول السكرى الذى لا يغير من حجم أو وزن النبات عند وضعه فيه مدة كافية . وواضح أن ص (قوة الامتصاص) فى مثل هذا المحلول تكون مساوية للصفر . واتضح من أبحاث Stiles and Jorgensen أن محلول ١ جزئى من سكر القصب لم يغير من وزن أقراص درنات البطاطس عند وضعها فيه مدة كافية وعلى ذلك تكون قوة الامتصاص لخلايا البطاطس مساوية ٢,٥ ضغطاً جويّاً . وعندما استعملت أقراص جذور الجزر موجد أن قوة امتصاصها تعادل ١٧ ضغطاً جويّاً .

وهناك طريقة أخرى تسمى طريقة الانحناء Tissue tension وتتلخص فى احضار سلاميات أو أعناق أوراق النبات المراد تقدير قوة الإمتصاص لخلاياه ويستحسن أن تكون السلاميات المأخوذة من أطراف النبات حتى لا يكون قد تكون بها أنسجة دامية تجعل انحناءها صعباً ، وكذلك الحال فى الأعناق التى يجب

أن تؤخذ من أوراق حديثة التكوين . وقبل قطع هذه الأجزاء النباتية طولياً (سواء كانت سلاميات أو أعناق أو أوراق) نلاحظ أن خلايا البشرة فيها مشدودة نتيجة لضغط خلايا البشرة والنخاع عليها من الداخل . أما عند قطعها طولياً لإلقائها في محاليل مختلفة الأزموزية فإننا نلاحظ انكماش خلايا البشرة وانسساط خلايا النخاع فتقوس القطعة إلى الخارج أى إلى جهة البشرة التى تكون فى الجهة المقعرة والنخاع فى الجهة المحدبة (شكل ١٢) . وإذا وضعت بعض هذه القطع فى ماء نقي فإن



(شكل ١٢)

(أ) سلامة النبات قبل قطعها

(ب) قطعة من السلامة - لاحظ

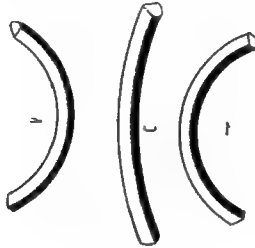
الانحناء الحادث جهة البشرة المظلمة

الخلايا المعرضة من النخاع سرعان ما تمتص الماء بقوة الامتصاص فيزداد حجمها ويزداد تبعاً لذلك تقوس القطع فى نفس الاتجاه . أما عند وضع القطع فى محلول زائد الأزموزية فإن خلايا النخاع تفقد الكثير من مائها نتيجة لخروجه إلى المحلول الخارجى فينتقص حجمها ويقل انحناء القطع بل وربما انعكس الانحناء ، مع ملاحظة أنه فى كلتا الحالتين يظل حجم خلايا البشرة ثابتاً لأنها لا تمتص ولا تفقد الماء نظراً لأن خلاياها مغطاة بطبقة عازلة تمنع تسرب أو دخول الماء إليها .

وتكون قيمة قوة الإمتصاص مساوية لقيمة الضغط الأزموزى للمحلول الذى لا يتغير فيه شكل الشرائح النباتية إذا وضعت فيه مدة كافية (شكل ١٣) .

ومن بين الطرق المستعملة طريقة مبنية على قياس طول شريحة النسيج النباتى المستعمل وذلك بأن يوضع النسيج النباتى فى زيت البارافين لحفظه بدون تغير لـ٥٠ ساعة . ثم تحضر جلة محاليل محتاجة التركيز من سكر التصب وتوضع فى أطباق مناسبة ويغط النسيج النباتى إلى شرائح مناسبة وتقاس أطوالها تحت سطح البارافين ثم يزال البارافين بسرعة من على الشرائح بقطعة من ورق الترشيح وتلقى الشرائح فى

المحاصيل السكرية المحضرة وتترك فيها لمدة ساعة ونصف تقريباً يقاس بعدها طول الشرائح وهي في المحلول السكري . وعلى ذلك تكون قوة الامتصاص للخلايا النسيج مساوية لقيمة الضغط الأزموزي للمحلول الذي لا يغير من طول الشرائح المستعملة .



(شكل ١٣)

القطعة الأولى ١ وضعت في محلول ناقص التركيز — زاد الانحناء جهة البشرة
القطعة الثانية ب وضعت في محلول سوى التركيز — لم يتغير شكلها
القطعة الثالثة ج وضعت في محلول زائد التركيز — انحنى جهة النخاع

العوامل التي تؤثر في قيمة الضغط الأزموزي للخلية النباتية :

١ — البيئة التي ينمو فيها النبات : من المعروف أن الضغط الأزموزي للخلية يتغير بتغير الوسط الخارجي الذي يعيش فيه النبات . فتمد أنمي Roberts (١٩١٦) جذور نباتات الفجل في محاليل سكرية مختلفة التركيز ومتزايدة من تركيز ٠,٢ إلى ٦٥ جزئياً ولاحظ أن الضغط الأزموزي للعصير الخلوي للشعيرة الجذرية يتزايد بتزايد تركيز المحلول السكري الخارجي . ولاحظ Harris & Pascoe (١٩٣٠) أن الضغط الأزموزي للعصير الخلوي لخلايا القطن يزداد بزيادة تركيز محلول التربة . وليس من المعروف بالضبط سبب هذه الزيادة ، وهل ترجع إلى تسرب بعض الذائبات من الوسط الخارجي إلى الخلية فتزيد من قيمة ضغط عصيرها الأزموزي أو

إلى تحلل بعض مواد غير أزموزية إلى مواد ذات ضغط أزموزى فى داخل الخلايا، الأمر الذى يزيد من ضغطها الأزموزى بصفة عامة .

٢ — نوع النبات : فى العادة يكون الضغط الأزموزى للعصير الخلوى لخلايا الأشجار والشجيرات أعلانه فى الأعشاب والحوليات . والجدول الآتى من نتائج Harris & Laurence (١٩١٦) ويمثل الضغوط الأزموزية للعصير الخلوى للنباتات المختلفة .

نوع النبات	الضغط الأزموزى للعصير الخلوى مقدراً بالضغوط الجوية .
أشجار وشجيرات	٢٨,١٠
نصف شجيرات ونباتات قزمية	٢١,٤٥
أعشاب	١٦,٣٥
حوليات	١٤,٧٣

ومن نتائج أخرى لاحظ Harris ومساعدوه (١٩١٧ - ١٩٢١) أن الضغط الأزموزى لأوراق النباتات الخشبية أعلانه فى أوراق النباتات العشبية .

وقد درست العلاقة بين العائل والطفيل من جهة الضغوط الأزموزية لخلايا كل منهما ووجد أن الضغط الأزموزى لخلايا الطفيل دائماً أعلانه فى قيمتها من الضغط الأزموزى لخلايا العائل .

٣ — وضع الخلية بالنسبة إلى النبات : لاحظ Dixon (١٩١٤) أن الضغط الأزموزى للعصير الخلوى لخلايا أوراق نبات الوستريا *Wisteria* التى على ارتفاع ثلاثة أقدام من سطح الأرض كان ٥,٢٥ ضغطاً جويّاً بينما بلغ ٦,٦١ ضغطاً جويّاً للأوراق التى على ارتفاع ٢٧ قدماً . وعلى العموم يمكن القول بأنه كلما كان وضع الورقة على النبات فى مستر أعلى زاد الضغط الأزموزى لعصيرها الخلوى عن الأوراق

التي في مستوى أوطأ . والجدول المبين بعد يبين بعض النتائج التي حصل عليها
Harris, Gortner and Laurence

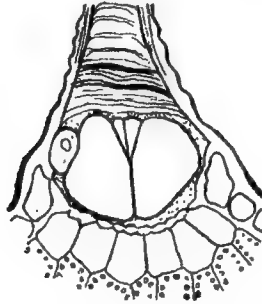
الارتفاع بالقدم	الضغط الأزموزي بالضغط الجوي	اسم النبات
١١	١٢,٦٣	<i>Betula lutea</i>
٢٥	١٤,١١	
٣٩	١٥,١٢	
٥٢	١٦,١٠	<i>Fagus grandifolia</i>
١٩	١٧,٣٢	
٦٤	٢١,٩٢	

٤ — عمر الخلية النباتية : يمكن القول بأن الأوراق المسنة ذات ضغط أزموزي
أعلا من الأوراق الحديثة التكوين كما أوضح ذلك Dixon (١٩١٢) وغيره .

٥ — وقت أخذ العينة : في العادة يكون الضغط الأزموزي لعصير الخلايا
منخفضاً جداً في الصباح الباكر ويستمر في الزيادة حتى يصل إلى أقصاه بعد الظهر ثم
يأخذ في الانخفاض التدريجي حتى الصباح التالي ، ويعزى هذا التغير في قيمة الضغط
الأزموزي لخلايا النبات إلى التغير في محتواها السكري أثناء ساعات النهار المختلفة .
فنلاحظ أن أقل نسبة من السكر توجد في الأوراق في الصباح الباكر وقبل شروق
الشمس ويقابل ذلك أقل ضغط أزموزي للخلايا ، ويزداد محتوى الأوراق السكري
بتقدم ساعات النهار بزيادة معدل عملية التمثيل الكربوني ، حتى يصل إلى أقصاه حوالي
الساعة الثانية ظهراً فيصل الضغط الأزموزي للخلايا إلى أقصاه ثم يأخذ محتوى الأوراق
السكري في التناقص لتناقص معدل عملية التمثيل ويصحب ذلك نقص في قيمة الضغط
الأزموزي للخلايا حتى الصباح التالي .

امتصاص النبات للماء

يمتص النبات الماء بصفة عامة عن طريق مجموعه الجذرى من التربة . غير أن هناك بعض نباتات قليلة مثل اليق *Diplotaxis* والعليق *Convolvulus* وغيرها يمكنها أن تمتص الماء بواسطة أعضائها الهوائية (شكل ١٤) غير أن هذا المصدر لا يعول عليه النبات كثيراً في أخذ ما يكفيه من الماء ، لذلك يأخذ أغلب احتياجاته منه عن طريق مجموعة الجذرى من التربة مثل غيره من النباتات .



(شكل ١٤)

شعيرة لامتصاص الماء في نبات اليق

(لاحظ طريقة الخلايا المجاورة لقاعدة الشعيرة وهي التي تقوم بامتصاص الماء)

وتمتص النباتات المائية الماء من جميع أجزاء جسمها المغمورة فيه كالأوراق والسوق وليس لجذورها أى فائدة تذكر في الامتصاص ، وتكون وظيفتها هى التثبيت وتصبح كمرکز ثقل للنباتات تجعلها فى وضع رأسى لتقاوم التيارات المائية التى تحاول جرفها .

بعض النباتات المتسلقة كنبات الأبنى *Hedra helix* والأميلوبس تكون لها جذور عرضية على سوقها المتسلقة وتغفل هذه الجذور فى شقوق الدعامات

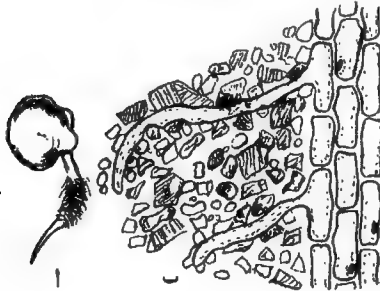
والجدران وتمتص ما قد يتراكم من ماء الأمطار فيها علاوة على تثبيت هذه النباتات بالنعامات أو الجدران (شكل ١٥)

وتكوّن أطراف الجذور مناطق الامتصاص الكبرى في النبات نظراً لأن جدر خلايا بشرتها غالية من المواد الشمعية والفليينية والكيوتينية التي تعوق امتصاص الماء .



(شكل ١٥)

١ — نبات الأبنى . ب — نبات الاميبويس
(لاحظ الجذور العرضية على الساق المتسلقة والتي تمتص مياه الأمطار)



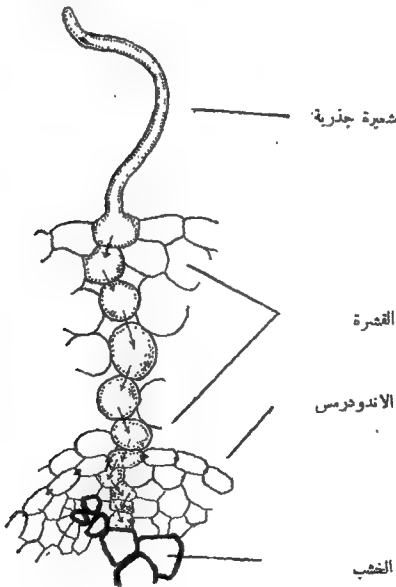
(شكل ١٦)

١ — بادرة وبها منطقة الشعيرات الجذرية
ب — تفتل الشعيرات الجذرية بين جزئيات التربة

وفظراً لرقه جذورها فانها تصبح بذلك طريق دخول الماء إلى النبات . وزيادة في تعريض أكبر سطح ممكن من البشرة للامتصاص فان بعض جذر هذه الخلايا تستطيل لتكون الشعيرات الجذرية Root hairs وبذا تتغلغل في التربة ويزيد السطح المعرض من الجذر للامتصاص (شكل ١٦) .

امتصاص الماء بواسطة الجذور :

إذا عملنا قطاعاً عرضياً في جذر حديث في منطقة الامتصاص (شكل ١٧) وفحصنا



(شكل ١٧)

قطاع عرضي في جذر في منطقة الامتصاص . تشير الأسهم إلى طريق الماء من التربة إلى أوعية الخشب (عن برستلي)

هذا القطاع لئرى الانسجة المختلفة التى يجب أن يخرقها الماء الذى يتحرك من التربة إلى أوعية الخشب لوجدنا أن أولى طبقاته من الخارج هى طبقة البشرة Epidermis وتكون أسطوانة تغلف الجذر سمكها خلية واحدة ويخرج من معظم خلاياها شعيرات جذرية . وجدر الخلايا والشعيرات خالية من أى تغليظ أو مادة تمنع نفاذ الماء ، لذلك ينتشر الماء خلال جدرها بسهولة تامة . وتميز خلايا هذه الطبقة باحتوائها على فجوات كبيرة وجدرها مغطاة بطبقة مخاطية تزيد من درجة التصاقها بحبيبات التربة .

تلى البشرة من الداخل طبقة القشرة Cortex وهى مكونة من عدة صفوف من الخلايا ذات الجدر السليولوزية الخالية كذلك من أى مادة تمنع نفاذ الماء . وآخر طبقات القشرة هى طبقة الاندودرمس Endodermis وهى طبقة سمكها خلية واحدة وجدر خلاياها متلاصقة تماما وتكون أسطوانة تفصل طبقى الجدر (القشرة والاسطوانة الوعائية) . وخلايا هذه الطبقة مغلظة من جدرها العليا والسفلى والجانبية ولكنها خالية من التغليظ فى الجدر المواجهة للقشرة وللأسطوانة الوعائية ، وبذلك يأخذ التغليظ شكل شريط أو حزام يسمى بشريط كاسبار Casparian strip (شكل ١٨) ويبدو أن هذا الشريط يتكون قبل تكون الجدار السليولوزى نفسه بالخلية الاندودرمية ويظهر أنه مصنوع من مادة قاعدية لأن جدران الخلية العادية تنوب فى حامض الكبريتيك ولكن هذا الشريط لا ينوب فيه ومادته غير منفذة للماء . ولا يوجد فى الجدر الحديث طريق لنفاذ الماء إلى أوعية الخشب سوى الجدر الداخلية والخارجية للاندودرمس إلا أنه عندما يكبر النبات تتغلظ هذه الجدر أيضاً . وبذا يقفل الطريق فى وجه الماء الداخل إلى الاسطوانة الوعائية لولا بقاء بعض هذه الخلايا بدون تغليظ وتسمى بخلايا المرور Passage cells .

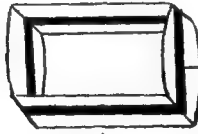
تلى طبقة الاندودرمس الاسطوانة الوعائية وأولى طبقاتها هو نسيج البريسكل Pericycle ويكون أسطوانة تغلف الاسطوانة الوعائية وسمكها خلية واحدة فى الغالب وخلاياها إما برنشيمية أو اسكرنشيمية وينفذ الماء بسهولة خلال جدره إلى أوعية الخشب .

. ويوجد الخشب في المركز في مجاميع مثلية ومتبادلة مع مجاميع اللحاء وتلتحم مع بعضها بخلايا برنشيمية حية هي برنشيمة الخشب . ويتركب وعاء الخشب من صف طولي من الخلايا غير الحية ذات جدر ملجئة وليس بين خلاياه جدران وبذا يزول كل عائق يعترض طريق مرور الماء والأملاح في الوعاء الخشبي . ومادة اللجنين لا تمنع نفاذ الماء إلى الداخل .

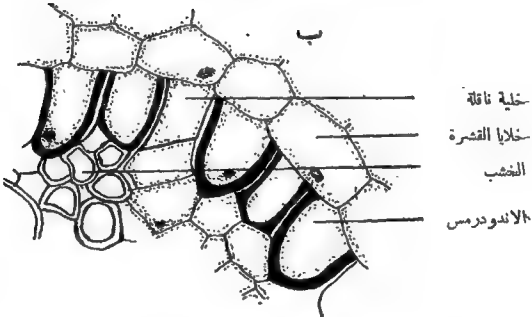
. وهناك قوتان تعملان على جذب الماء من التربة إلى النبات هما :

١ — قوة تشرب الجدران السيلولوزية للخلايا بالماء .

٢ — قوة الامتصاص .



١



(شكل ١٨)

١ — خلية اندودرمس صغيرة لها شريط كاسبار

ب — جزء من قطاع عرضي في جذر من . لاحظ تفلظ الجدر

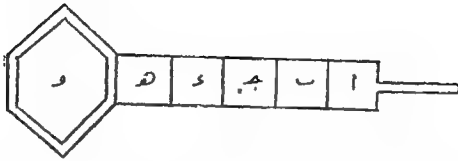
الداخلية والشعاعية بمواد غير منفذة ما عدا الخلايا الناقلة

أولاً : قوة تشرب الجدران السليولوزية للخلايا بالماء :

لما كانت خلايا منطقة الامتصاص في الجذر بما في ذلك الشعيرات الجذرية ملاصقة لماء التربة لذا كانت لديها أكبر فرصة لأن تتشرب جذرها بالماء إلى أكبر درجة ممكنة . ولما كانت جدر هذه الطبقة (البشرة) ملاصقة لجدر أول طبقة من خلايا القشرة ، ولأن جدر القشرة أقل تشرباً بالماء نظراً لبعدها عن مصدره ، فإن الماء ينتقل من جدر خلايا البشرة إلى جدر أول صف من خلايا القشرة وبذا تصبح جدر خلايا أولى طبقات القشرة أكثر تشرباً من جدر ثاني طبقات القشرة فينتقل إليها الماء وهكذا تتولد قوة تجذب الماء على جدران الخلايا ، وفي نفس الوقت يكون تركيز ماء التشرب على جدر خلايا البشرة قد انخفض فتتشرب بكمية أخرى من ماء التربة وتحدث موجة شد أخرى ، وهكذا تسرى موجات متتابعة يكون نتيجةها مرور تيار من الماء على جدران الخلايا . وعندما يصل تيار ماء التشرب إلى طبقة الأندودرمس فإنه لا يمكنه أن يتعداها لغلظها بشرط كاسبار الذى يعوق نفاذ الماء وبذا لا يتقدم ماء التشرب أكثر من هذه الخطوة أى أن تأثيره لا يتعدى منطقة القشرة . ويلاحظ أن كمية الماء التى تدخل النبات عن هذا الطريق كمية ضئيلة بالنسبة لما يدخل بقوة الامتصاص .

ثانياً : قوة الامتصاص :

سبق أن بينا أن انتقال الماء من خلية إلى أخرى مجاورة لها إنما يتوقف على قوة الامتصاص وليس على الضغط الأزموزى للخلايا ، وأن الماء ينتقل إلى الخلية ذات قوة الامتصاص الأكبر . ولما كان الضغط الأزموزى لخلايا البشرة أكبر منه لمحلول التربة (حوالى ضغط جوى واحد) فإن الماء ينتقل من محلول التربة إلى فجوة خلية البشرة (١) فتتفخ الخلية وتنخفض قوة امتصاصها عن الخلية (ب) وهى أول طبقة من خلايا القشرة فينتقل إليها الماء وتتفخ وتقل قوة امتصاصها عن الخلية (ح) وهى ثاني طبقات القشرة وينتقل إليها الماء . وهكذا ينتقل الماء من خلية إلى خلية حتى يصل إلى وعاء الخشب (و) (شكل ١٩) .



(شكل ١٩)

رسم تخطيطي يبين اتصال خلية الشعيرة الجذرية (١) بخلايا القشرة (ب ، ج ، د ، هـ)
ووعاء الخشب (و) (عن ف . هـ . بلاكان)

والواقع أن الماء يصل بقوة الامتصاص من ماء التربة حتى آخر طبقة حية وهي
البرنشيمة الخشبية . وعندما يصل الماء إلى برنشيمة الخشب يندفع بقوة غير معروف
كنها إلى وعاء الخشب ، وهذه القوة هي ما يطلق عليها « الضغط الجذري » ،
Root pressure وهي التي تدفع الماء في قصبات الخشب وقصباته إلى أعلا .

ويمكن إثبات وجود هذا التيار المائي الناتج من الضغط الجذري عملياً إذا قطعنا
ساق نبات نامٍ فإننا نلاحظ بعد وقت قليل خروج قطرات
من (الماء) من السطح المقطوع مشوّهاً قوة الضغط الجذري .
وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة الإدماء Bleeding وترى
بوضوح عند تقليم العنب .



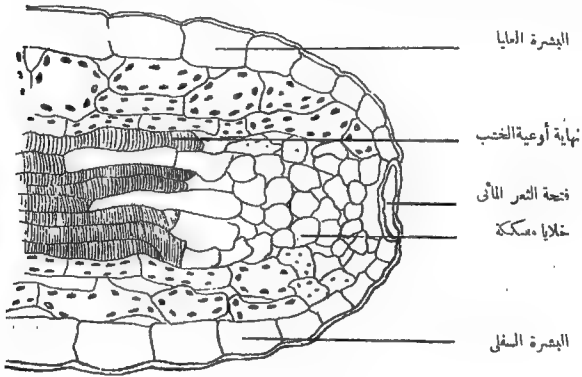
(شكل ٢٠)

تجربة لإظهار قوة الضغط
الجذري

فإذا ما ثبتت أنبوبة مانومترية بها زئبق تثبتاً محكماً بواسطة
أنبوبة من المطاط على سطح النبات المقطوع ورويت التربة
فإننا نلاحظ بعد مدة ارتفاع الزئبق في ساق المانومتر البعيدة
دليلاً على خروج الماء بقوة الضغط الجذري ، ويمكن استخدام
هذه الطريقة في قياس قيمة الضغط الجذري للنبات (شكل ٢٠) .

وهناك ظاهرة أخرى تعرف بظاهرة الإدماء Guttation
وترى في الصباح الباكر على شكل نقط من الماء على أطراف
أوراق بعض النباتات خصوصاً نباتات العائلة النجيلية ونبات

أبو خنجر . وسبب هذه الظاهرة أنه أثناء الليل تكون الثغور مقفولة ويدخل الماء من الجذر إلى أوعية الخشب في الجذر والساق والأوراق بقوة الضغط الجذري ، ولا يجد الماء الزائد عن حاجته أمامه من سبيل للخروج إلا عن طريق فتحات صغيرة موجودة في نهاية الأوعية الخشبية الدقيقة بأطراف الأوراق وهذه الفتحات تعرف بالثغور المائية Hydathodes (شكل ٢١) وتبقى مفتوحة دائماً فيخرج الماء على



(شكل ٢١)

قطاع طولى في طرف ورقة البرسيمولا (عن هيرلاند)

شكل ٢٢ متتابعة وأحسن ما تشاهد هذه الظاهرة في الصباح الباكر لليلة دافئة فيساعد الدفق على امتصاص الجذر للماء .

وتختلف قيمة الضغط الجذري باختلاف فصول السنة والمعتقد أن قيمته تبلغ أقصاها في بداية الربيع وقبل تمام تكوين الأوراق حيث تقل قيمة النتج . وتقل قيمته كلما كبرت الأوراق وزاد معدل تنحها لذلك يعتبر الضغط الجذري من العوامل الهامة في رفع العصارة .

العوامل التي تؤثر على امتصاص الجذور للماء :

١ — درجة حرارة التربة :

يزداد معدل امتصاص النبات للماء بازدياد درجة الحرارة ويقل هذا المعدل بانخفاضها . ويرجع السبب في ذلك إلى أن درجة الحرارة المنخفضة تسبب تجمع جزيئات أى مادة ومنها الماء وبذا يقل معدل انتقاله من التربة إلى النبات . كما أن للعامل الحرارى لعملية امتصاص الماء أثراً كبيراً . فإن رفع درجة الحرارة ١٠ درجات مئوية يزيد في معدل الامتصاص من ١,٢ إلى ١,٣ مرة في حين أن معدل الامتصاص للنبات من الماء يزيد عن ذلك كثيراً .

ويمكن بواسطة التجربة لإثبات أن خفض درجة الحرارة يقلل من معدل ما يصل إلى الجذر من الماء فيذبل النبات . وذلك بأن نأق بأصيص به نبات نام ونضع هذا الأصيص في مخلوط مبرد من الثلج المجروش بحيث يترك المجموع الحضرى للنبات في الجو العادى للفرقة فإننا نلاحظ بعد مدة ذبول النبات رغم أن مجموعه الحضرى موجود في درجة الحرارة العادية . ويعزى ذبول النبات إلى أن انخفاض درجة حرارة التربة سببت قلة انتقال الماء إلى الجذر بدرجة لا تكافأ مع ما يفقده النبات بالنتح . فإذا ما أخرجنا الأصيص من المخلوط المبرد إلى الدرجة العادية فانه لا تلبث أن تزول حالة الذبول تدريجياً . ولعل هذا يفسر لنا تساقط أوراق بعض النباتات في الشتاء لعدم تكافؤ ما يمتصه النبات مع ما يفقده . لذا يلجأ النبات إلى التخلص من أوراقه حتى يوازن بين الفقد والامتصاص . أما النباتات دائمة الاخضرار فإن لها من الصفات الزىروفيتية ما يمكنها من بقاء أوراقها .

٢ — كمية الماء في التربة :

يوجد الماء في التربة على صورتين : الأولى وهى الماء الميسور Available water وهو الماء الذى يمكن أن يمتصه النبات بواسطة مجموعه الجدرى ، والثانية هى الماء غير الميسور Non - available water وهى كمية الماء التى تتخلف في التربة ولا يمكن أن يمتصها

النبات . وتختلف نسبة الماء الميسور إلى الماء غير الميسور باختلاف أنواع التربة . من المعروف أن التربة الرملية هي أسخى أنواع التربة بمائها للنبات بالرغم من أن طاقة احتفاظها للماء Water holding capacity قليلة إذا قورنت بأنواع الأراضي الأخرى ذلك لأن مثل هذه الأراضي تحتفظ بالماء على صورة ماء شعري فقط بقوة الخاصة الشعرية وهي قوة ليست كبيرة وعلى ذلك لا يصعب على النبات انتزاع الماء منها .

أما الأراضي الطينية فإنه نظراً لدقة حبيباتها تحتفظ بالماء على صورتين : الأولى وهي الماء الشعري والثانية وهي الماء الذي يخلط الحبيبات بقوة التجمع السطحي . وواضح أن القوة الأخيرة كبيرة وتقدر بعدة ضغوط جوية ولا يسهل على النبات الاستفادة منها وعلى ذلك فالأراضي الطينية أقل سخاءً بمائها من الأرض الرملية أى أن النباتات تذبل في الأرض الطينية وبها كمية من الماء أكثر من الموجودة في الأراضي الرملية عند ذبول نباتاتها .

أما الأراضي الطينية المحتوية على المواد العضوية فنظراً لدقة حبيباتها واحتوائها على المواد العضوية التي تتحلل في التربة إلى مواد غروية فإنها تحتفظ بالماء على ثلاث صور : الأولى وهي الماء الشعري كما في الأراضي الرملية والطينية ، والثانية وهي الماء المغلف للحبيبات كما في الأرض الطينية ، والثالثة وهي ماء التشرب الذي تشرب به الدقائق الغروية العضوية أى أنها أكثر أنواع التربة احتفاظاً بالماء وتذبل نباتاتها وما زالت بها كمية من الماء تفوق الموجود منه في الأراضي الرملية والطينية عند ذبول نباتاتها . ويطلق على كمية الماء المتبقية في التربة عند ذبول نباتاتها منسوباً إلى وزن التربة الجاف بمعامل الذبول لهذه التربة Wilting-coefficient والجدول الآتي يبين درجة التشبع ومعامل الذبول لأهم أنواع التربة .

نوع التربة	درجة التشبع	معامل الذبول
رملية عضوية	٪ ٤٦	٪ ١٢,٣
طينية	٪ ٥٢	٪ ٨
رملية	٪ ٢٠,٨	٪ ١,٥

٣ — درجة تركيز محلول التربة :

تقل قدرة المجموع الجذرى على امتصاص الماء كلما زاد تركيز محلول التربة. وعندما تتعادل قيمة الضغط الأزموزى لمحلول التربة مع الضغط الأزموزى الخلية الشعيرة الجذرية فإن امتصاص الجذر للماء يقف تماماً وتذبل النباتات . إلا أن هناك بعض نباتات — خصوصاً التى تعيش فى البيئات الملحة وعلى شواطئ البحار — يمكنها أن تغلب على هذه التركيزات العالية واحتمالها وذلك بأن تزيد من قوة الامتصاص لخلايا جذورها . ولقد سبق القول بأن الخلايا تنبلم إذا وضعت فى محلول ذى ضغط أزموزى أعلا قليلاً من الضغط الأزموزى لعصارتها الخلوية ، إلا أنها تتمكن من استعادة ماؤها وانفاسها بزيادة قوة امتصاصها بطريقةتين :

الأولى : بأن تسمح لبعض أملاح البيئة الخارجية بأن تسرب تدريجياً إلى داخل الخلايا فتزيد بذلك من تركيز عصارتها الخلوية فتزداد قوة الامتصاص لخلايا الجذر .

الثانية : أن تتحلل بعض المواد غير الذائبة داخل خلايا الجذر إلى مواد ذائبة (كأن يتحلل النشاء إلى سكر) وبذلك يزداد تركيز محلول الفجوة وتزداد تبعاً لذلك قوة الامتصاص لخلايا الجذر .

٤ — درجة التهوية فى التربة :

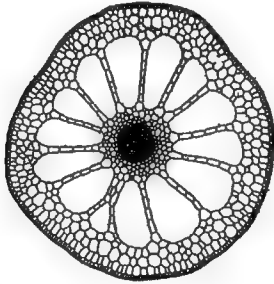
لا بد لعملية امتصاص الجذر للماء من وجود الأكسجين حول المجموع الجذرى. فإذا استبدل الأكسجين بأحد الغازات الأخرى كالأزوت أو الأيدروجين فإن النباتات سرعان ما تذبل نظراً لعجز جذورها عن امتصاص اناء تحت هذه الظروف اللاأكسجينية . وهذا يفسر لنا عدم استطاعة النباتات النمو فى الأراضى الغدقة أو سيئة الصرف أو ذات المستوى المائى المرتفع . وبما هو جدير بالملاحظة أن الضرر الذى ينشأ لمثل هذه النباتات ليس راجعاً إلى كثرة وجود الماء كما هو شائع ومعروف ولكن الضرر ينتج من عدم وجود وتوفر الأكسجين حول المجموع الجذرى بدليل

تجاح زراعة النباتات في المزارع المائية الصناعية إذا أحسن تهويتها بدفع تيارات مستمرة من الهواء فيها بين حين وآخر .

ولتهوية التربة فائدة أخرى وهي تنشيط عمل بعض أنواع البكتريا المفيدة في التربة فتحدث عمليات الأكسدة التي يستفيد منها النبات (كما سيأتي ذكره بعد) بينما في حالة عدم توفر الأكسجين فإن الاختيار يحل محل الأكسدة وتتراكم منتجاته السامة في التربة وتؤثر على عملية امتصاص الجذر للماء .

إلا أن هناك بعض نباتات قليلة — كالأرز والسمار — يمكنها أن تعيش وتمتص الماء من التربة قليلة التهوية .

ومن المعروف أن النباتات المائية مثل الألوديا *Elodea* لها من التركيب ما يساعدها على أن تحتزن الهواء في فجوات خاصة تمتد به جذورها (شكل ٢٢)



(شكل ٢٢)

قطاع عرضي في ساق نبات مائي — لاحظ فراغات تخزين الهواء

وقد أوضح *Kramer* (١٩٤٠) أن هناك قوتين تسيطران على امتصاص الجذر للماء : الأولى قوة حيوية وهي التنفس ، والثانية قوة طبيعية وهي درجة نفاذية البروتوبلازم ، وأن تأثير القوة الأولى في عملية امتصاص الجذر للماء قليلة إذا

قورنت بالقوة الثانية ، وأن سوء التهوية وانخفاض درجة الحرارة لها تأثير كبير على القوة الثانية فتقل كثيراً من نفاذية البروتوبلازم للماء .

The ascent of sap. صعود العصارة

علينا الآن كيف يمتص النبات الماء بواسطة شعيراته الجذرية ، وكيف يسلك هذا الماء طريقه في القشرة إلى أوعية الخشب . أما كيفية وصول الماء من الجذر إلى الأوراق فهذا ما سنحاول معرفته الآن .

ففي فصل الربيع عندما تكون الأوراق صغيرة وغير كاملة الانبساط فإن الضغط الجذري يكون على أشده بينما يكون معدل النتح قليلاً . وقد أثبت التجارب أن قيمة الضغط الجذري تنخفض بسرعة عندما تنشط عملية النتح وذلك بعد تمام تكوين الأوراق وانبساطها .

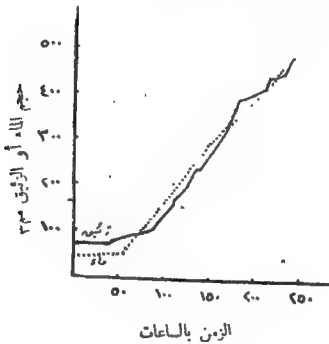
وتختلف قيمة الضغط الجذري اختلافاً كبيراً باختلاف النباتات والجداول الآتية بين قيمة الضغط الجذري لبعض النباتات (سم من الزيتق) وقد اتبع في قياسها طريقة المانومتر بعد قطع الأجزاء الخضرية العليا كما سبق توضيحها في (شكل ٢٠) .

اسم النبات	قيمة ضغطه الجذري
البتونيا	٠,٧
الزربيع	١,٦
الخروع	٣٣,٤
العنب	من ٩٠ إلى ١١٠

وقد اعتبرت في الماضي هذه التيم المنخفضة للضغط الجذري دليلاً على عدم أهمية هذه القوة في رفع العصارة ذلك لأنه اتبع عند تقدير قيمة الضغط الجذري لهذه

النباتات إزالة الأجزاء العليا وفصلها عن الجذر فأحدثت عملية الإزالة تأثيراً كبيراً في حالة الجذر مما أدى إلى انخفاض الضغط الجذري إلى القيم المذكورة .

وفي عام ١٩٣٨ أجرى White تجربته المشهورة فقام بترية بعض جذور بادرات الطماطم المفصولة في أنابيب الاختبار لمدة تسعة أشهر حتى زال الأثر الحادث. من عملية الفصل ثم قسم الجذور إلى مجموعتين وأوصل كل جذر في المجموعة الأولى بأنبوبة مانومترية رفيعة مملوءة بالماء وأوصل كل جذر في المجموعة الثانية بأنبوبة مانومترية رفيعة مملوءة بالزئبق وترك بعض الوقت فلم يلاحظ أى فرق بين ارتفاع الماء والزئبق في الأنابيب المانومترية. والنتيجة الوحيدة التي يمكن استخلاصها من هذه التجربة هي أن ارتفاع كل من الماء والزئبق في الأنابيب لم يكن نتيجة لضغط ثابت. يتغير بنسبة كثافة الزئبق إلى الماء في هذه التجربة ، وإنما كان نتيجة لدفع الجذور في كلتا الحالتين لحجم متساوٍ من الماء (شكل ٢٣)



(شكل ٢٣)

ارتفاع السوائل في مانومترين متماثلين أحدهما مملوء بالماء والآخر مملوء بالزئبق نتيجة لقوة الضغط الجذري . لم تفرز الجذور في مدة الـ ٤٨ ساعة الأولى للتأثير الحادث من إجراء التربة (عن White)

وعندما سلطت قوة قدرها ستة ضغوط جوية فوق أسطح الجذور المقطوعة لم يؤثر ذلك في كمية الماء المفرزة من هذه الأسطح . وقد خلص White من هذه النتائج إلى أن قوة الضغط الجذري قوة لا يستهان بها وقد قدرها بأكثر من عشرة ضغوط جوية وأنها قد اعتبرت في الماضي قليلة الأهمية نظراً لعدم إدراك تأثير الجرح الحادث من عملية القطع في إفراز السطح المقطوع للماء .

ومن المسلم به الآن أن الماء يأخذ طريقه من الجذر إلى الأوراق عن طريق أوعية الخشب . ومن التجارب المشهورة التي تثبت ذلك أنه عند غمس الطرف السفلي لساق حديثة القطع في محلول مائي بلون فإنك تشاهد بعد مدة عند قطع هذه الساق طولياً انصبغ أوعية الخشب في الساق بلون الصبغة المستعملة . كما أن تجارب التحليق Ringing تثبت نفس النظرية . فإذا فصلت جميع الأنسجة التي توجد خارج الخشب على شكل حلقة ارتفاعها ٢ سم حول الساق فإن الأوراق التي تقع فوق منطقة التحليق لا تذبل دليلاً على أن حركة صعود الماء إلى أعلا لم تتأثر وأن الماء يسلك طريق الخشب .

ويسلك الماء في أوعية الخشب طريقتين : أولهما طريق خارجي نتيجة لتشرب جدر الأوعية الخشبية بالماء والطريق الآخر داخلي خلال تجويف الأوعية . إلا أنه ثبتت من التجارب التي قام بها دكسون Dixon (١٩١٤) أن كمية الماء التي تمر خلال الجذر من القلة بحيث لا تكفي احتياجات الأوراق وأن أغلب الماء يمر عن طريق تجويف الأوعية الخشبية ، وقد أثبت ذلك بأن أحضر أفرعاً ساقية لنبات التيليا وقسمها إلى ثلاثة مجاميع وغمس الأطراف المقطوعة للمجموعة الأولى في محلول الجيلاتين والمجموعة الثانية في شمع منصهر على درجة ٥٠° م وترك الثالثة بدون معاملة للمقارنة . وبعد ٤٠ دقيقة أزال طبقة رقيقة من كل من الأسطح التي غمست في الجيلاتين والشمع وترك جميع النباتات مغموسة في ماء درجة حرارته ١٣° م مدة ١٥٣ ساعة فلاحظ أن النباتات التي عوملت أطرافها بالشمع ذبلت ذبولاً شديداً بينما لم تذبل النباتات التي عوملت بالجيلاتين بنفس الدرجة . أما النباتات التي تركت للمقارنة

فلم يطرأ عليها شيء . وواضح من هذه التجربة أن الشمع سبب انسداد أوعية الخشب بدرجة مطلقة فلم يجد الماء أمامه إلا طريق تشرب الأوعية وهذه لم تكن كافية لسد احتياجات النبات . أما مجموعة النباتات المعاملة بالجيلاتين فلم يكن انسداد الأوعية فيها تاماً لحدث الذبول البسيط بينما سلك الماء طريقه الطبيعي في نباتات المقارنة التي لم تذبل .

رأينا الآن أن الماء يأخذ طريقه إلى أعلا النبات داخل أوعية الخشب وأن الضغط الجذري هو أحد القوى المسببة لرفع العصارة . وقد وضعت عدة نظريات لتفسير ميكانيكية صعود الماء إلى أعلا النبات ضد قانون الجاذبية الأرضية . ويمكن تلخيص هذه النظريات في نظريتين :

الأولى : النظرية الحيوية

الثانية : النظرية الطبيعية

النظرية الحيوية :

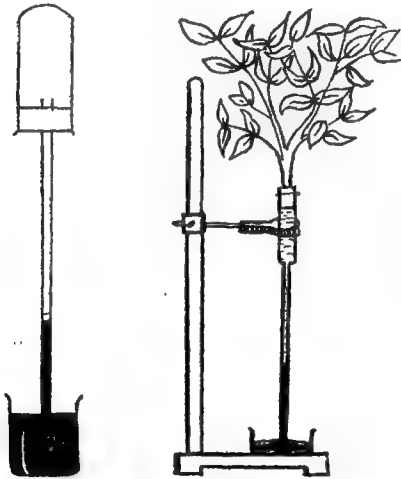
يرى أنصار هذه النظرية أن الماء يرتفع في النبات كنتيجة للنشاط الحيوي للخلايا وأن هذه الخلايا لم تقم برفع الماء داخل النبات إلا لأنها تؤدي وظيفتها . غير أن هذه النظرية لم تفسر عملية رفع الماء داخل النبات تفسيراً شافياً . ففي عام ١٨٤٠ أثبت Boucherie بالبرهان القاطع خطأ هذه النظرية بأن أزال قطعة من ساق شجرة قرب سطح الأرض ثم وضع في الساق المقطوعة سائل يحتوى على مادة سامة فارتفع السائل إلى أعلا، وبالطبع سبب موت جميع الخلايا التي مر بها . وعندما أعيد وضع كمية أخرى من السائل شوهد صعوده إلى أعلا دليلاً على أن موت الخلايا لم يمنع أبداً من صعود المحلول إلى أعلا جزء في الشجرة .

النظرية الطبيعية :

وتعتمد هذه النظرية على نظرية التماسك Cohesion theory التي وضعها Dixon & Joly عام ١٨٩٤ ومؤداها أن صعود العصارة إنما يرجع إلى قوة التماسك

بين جزيئات أعمدة الماء التي تملأ الأوعية الخشبية ، وأن هذه الأعمدة تندفع إلى أعلا الثبات بقوة الضغط الجذري والتتح .

ويمكن عمل تجربة بسيطة لإظهار أثر هذه القوة بأن تقطع ساق نباتية تحت سطح الماء حتى لا يدخل الهواء في أوعية الخشب فيسبب دخوله عدم تماسك جزيئات الماء ، وتثبت هذه الساق المقطوعة في قمع زجاجي ينغمس طرفه الرفيع في حوض به زيتون . فإنك تشاهد بعد مدة ارتفاع الزيتون في ساق القمع (شكل ٢٤) نتيجة لتبخر الماء .



(١) (شكل ٢٤) (ب)

١ — تبخر الماء من أسطح الأوراق (التتح) فتولدت قوة شد سببت ارتفاع الماء في ساق القمع .

ب — تبخر الماء من السطح المعرض في الوعاء الخزفي (التبخير) فتولدت قوة سببت ارتفاع الزيتون في ساق القمع .

من أسطح الأوراق وهو ما يعرف بالنتح فتولد قوة تشد الأعمدة المائية فتتحرك إلى أعلا لتحل محل الماء المفقود بالتبخير . ويمكن إثبات أن تبخر الماء من أى سطح مسامى (شكل ٢٤ ب) يحدث قوة تجذب عمود الزئبق مثل ما حدث نتيجة تنح النبات ويلاحظ أن هناك قوتين تعملان على استمرار سريان موجة الشد هما قوة التماسك Cohesion force بين جزيئات الماء وقوة التلاصق Adhesion force بين جزيئات الماء والأسطح الملاصقة له . وقد وجد أن قوة التلاصق بين جزيئات الماء والأوعية الخشبية أكبر منها بين جزيئات الماء والأوعية الزجاجية .

يمكننا الآن أن نتصور كيف ينتقل الماء من الجذر إلى الساق ومنها إلى الأوراق . فبواسطة قوة الضغط الجذري يدفع الماء إلى أعلا في أوعية الخشب ويظل عمود الماء معلقاً فيها ومحتفظاً بوضعه ضد الجاذبية الأرضية بقوة التلاصق والتماسك . وكما سنرى فيما بعد أن تبخر الماء من أسطح النسيج الميزوفيل للخلايا الورقة يسبب زيادة الضغط الأزموزي للخلايا المجاورة لأوعية الخشب وعلى ذلك فإن عمود الماء يجذب إلى أعلا ليعوض الماء المفقود من خلايا النسيج الميزوفيل .



الباب الخامس

النتح Transpiration



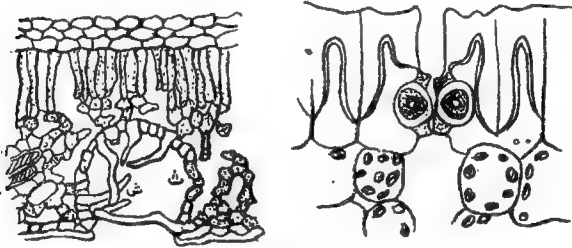
النتح هو فقد النبات للماء على صورة بخار من سطحه المعرض خصوصاً من أسطح الأوراق . ويفقد النبات عن طريق النتح كميات كبيرة جداً من الماء فقد قدر أن النبات الواحد من القمح يفقد ٢٠٠ لتر من الماء مدة حياته . من ذلك نرى أن النبات يفقد من الماء أضعاف وزنه ولا يحتفظ داخل أنسجته إلا بما يكفيه للقيام بوظائفه.

ولكى تحافظ النباتات على محتواها المائى فإنه يلزم أن تمتص من الماء أكثر قليلاً مما تفقد وتحفظ بالفرق لبناء الأعضاء الجديدة . ولما كان هذا غير ميسور في كثير من الأحيان وأن معدل الفقد قد يفوق في بعض الأحوال معدل الامتصاص ، فلكىبقى النبات نفسه من أخطار الذبول التى تترتب على كثرة النتح فإنه يتعين أن يوجد جهاز خاص لتنظيم عملية فقد الماء والتحكم فيه حسب مقتضيات الأحوال . وقد يظن أن كثرة النتح تشجع أو تزيد من معدل امتصاص الماء من التربة ولكن التجارب التى أجراها Mc. Lean (١٩١٩) و Prat (١٩٢٣) و Parker (١٩٢٧) وآخرون أثبتت أن زيادة النتح تزيد من معدل الامتصاص إلى درجة معينة وبعدها لا ترتبط زيادة النتح بزيادة الامتصاص .

وقد يتساءل البعض عن مدى فائدة عملية النتح التى تهدد حياة النبات دائماً بالذبول والفناء ، وما معنى أن يمتص النبات أضعاف وزنه من الماء ثم يفقدها هباءً فى الهواء ؟ وللإجابة على هذا السؤال نقول إن النتح يعمل على تبريد سطح النبات وبذا ينجو النبات من أثر الحرارة اللافت خصوصاً فى أوقات الصيف . وقد يكون هذا التفسير صحيحاً فيما يختص بالنباتات العادية أو نباتات البيئة المتوسطة Mesophytes إلا أن ذلك لا ينطبق على نباتات البيئة الجافة Xerophytes كنبات السكاكتس Cacti التى

لها تركيب خاص وتحررات تساعد على تقليل النتح إلى أقل درجة ممكنة لتفادي الجفاف . ومع ذلك فإن أنسجتها الداخلية تتحمل درجات من حرارة تفوق كثيراً درجة حرارة الجو الخارجى .

والواقع أن سبب جفاف الأوراق وموتها في أوقات الحرارة والجفاف هو فقد بروتوبلازمها للبناء وليس ارتفاع درجة حرارتها . وتعمل النباتات الصحراوية على تفادي النتح أو تقليله بوسائل مختلفة منها سلك طبقة الكيوتين التي تغطي البشرة ووجود الثغور في تجاوزيف عميقة مغطاة بشعور . لتفادي النتح المباشر (شكل ٢٥) .



(١) (شكل ٢٥) (ب)

طرق تقليل النتح في النباتات الصحراوية

(١) قطاع عرضي في ورقة نبات الصبار مبيئاً الثغر الفأر والكيوتين السميك .

(ب) قطاع عرضي في ورقة نبات الدفلة — لاحظ وجود الثغور في تجويف مغطى بالشعيرات على السطح السفلى للورقة .

ومن فوائد النتح أنه يعمل على جلب كميات كبيرة من محلول التربة المحمل بالأملاح الغذائية وهذه تدخل في عمليات البناء في النبات علاوة على أن عملية النتح تساعد على رفع العصارة .

أنواع النتح :

للنتح نوعان : النتح الأدى Cuticular transpiration

والنتح الثغرى Stomatal transpiration

فالنتج الأديمى هو تبخر الماء من النبات عن طريق الأدمة أو البشرة وهو كبير الأثر فى الأوراق الصغيرة وبشرة السوق الغضة حيث تكون مغطاة بطبقة رقيقة من الكيوتين ، حتى إذا ما زاد سمك هذه الطبقة قل معدل النتج الأديمى أو انعدم نهائياً . وعلى العموم فهو فى أحسن حالاته لا يزيد قيمته عن ٣٪ من مجموع ما يمتصه النبات .

أما النتج الثغرى فهو تبخر الماء من النبات عن طريق الثغور وهو أهم أنواع النتج إذ هو المسؤول عن ٩٧٪ أو أكثر من مجموع ما يفقده النبات بالنتج .

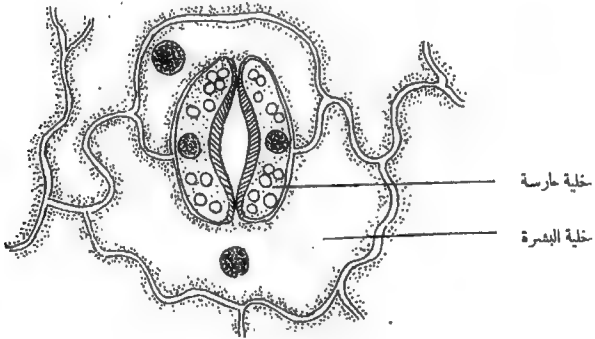
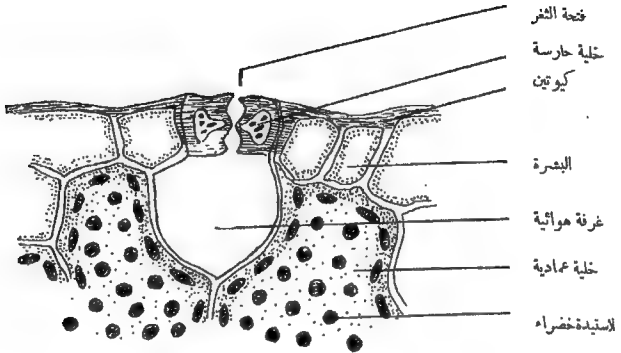
جهاز تنظيم النتج (الثغور) Stoma

يتركب هذا الجهاز من خليتين شقيقتين يعرفان بالخليتين الحارستين Guard cells وهما ناشئتان من انقسام خلية من خلايا البشرة ثم تزول الصفيفة الوسطية التى بين الخليتين وبزوالها تكون فتحة الثغر .

وتمتاز الخلية الحارسة عن باقى خلايا البشرة باحتوائها على المادة الخضراء ، وبظهور تغليظ غير متساوٍ فى التوزيع على جدرانها .

فالخلية الحارسة فى معظم النباتات ذات الفلقتين تحتفظ جدرانها العلوى والسفلى بحيث يكونا غاية فى السمك فى الوسط ثم يتدرج التغليظ فى القلة إلى النهايتين ويبقى الجدار الخلقى الفاصل بينها وبين خلية البشرة رقيقاً كما تظل رقيقة نقطة الاتصال بين طرفى الجدارين العلوى والسفلى والتى تحد فتحة الثغر (شكل ٢٦) .

ويفتح الثغر عند امتلاء الخلية الحارسة بالماء فيتمدد البروتوبلازم ويضغط أشد ما يكون على الجدار الرقيق الخلقى فينبعج هذا الجدار فى داخل خلية البشرة المجاورة حتى إذا ما وصل انبعاج الجدار إلى أقصى حد تسمح به مرونته تتحرك نقطتا الاتصال بين الجدار الخلقى والجدارين السميكين العلوى والسفلى إلى الخلف قليلاً ويحدث نتيجة لذلك أن تتمدد نقطة الاتصال بين الجدارين العلوى والسفلى من الجانب الذى يحد فتحة الثغر فتستدير هذه النقطة بعد أن كانت مدببة وبذلك يفتح الثغر .



(شكل ٢٦)

الرسم العلوي يمثل قطاعاً عرضياً في ورقة مبنياً فتحة الثغر والخليتين الحارستين واتصالهما بالترفة الهوائية والخلايا المحيطة به .

الرسم السفلي يبين منظر علوي للثغر والخلايا الحارسة واتصالهما بخلايا بشرة الورقة (عن Kny بصرف)

ويحدث العكس عندما يقفل الثغر نتيجة لفقد الخلية الحارسة للبناء فيقابل طرفي الجدران العلوى والسفلى ويتديان وتقفل بذلك فتحة الثغر .

كيف يفتح النبات :

إذا فتح الثغر وكانت العوامل الجوية مواتية لتبخر الماء ، فإن جدر خلايا الميزوفيل الواقعة حول الغرفة الهوائية تفقد بعضاً من مائها إلى الغرفة الهوائية ومنها إلى الجو الخارجى ، فتحاول استعادة تشبعها من الخلايا المجاورة لها . وهكذا إلى أن تصل إلى أوعية الخشب وبذلك تسرى موجة من جذب الماء أولها الجدر الخلية للخلايا المحيطة بالغرفة الهوائية وآخرها الوعاء الخشبي .

وتحدث موجة جذب أخرى للبناء بواسطة قوة الامتصاص للخلايا . ذلك أنه عند تبخر الماء من جدران الخلايا المحيطة بالغرفة الهوائية فإنها تحاول إعادة تشبعها من ماء فجوتها العصارية فيزداد تركيز الفجوة ويزداد تبعاً لذلك ضغط عصيرها . الأزموزى فينتقل إليها الماء من فجوة الخلية المجاورة وهكذا تسرى موجة جذب أخرى للبناء بمثابة الأولى ومسببة عن قوة الامتصاص .

فإذا تصورنا أن الماء موجود في النبات على شكل خيط شعرى نهايته في خلايا الجذر الملاصقة للتربة وأوله في جدر خلايا الميزوفيل المحيطة بالغرفة الهوائية فإذا ما جذب أوله فإن خيط الماء يظل متصلاً ويتحرك من التربة إلى أعلا .

طرق قياس النتح :

يقاس معدل النتح في النباتات المختلفة بتقدير كمية الماء التى يفقدها النبات في مدة معينة أو بما تفقده مساحة معينة من الورقة في وحدة الزمن . والطريقة التى تتبع في العادة هي تقدير وزن الماء بالجرام الذى يفقد من ديسيمتر مربع من سطح الورقة في الساعة .

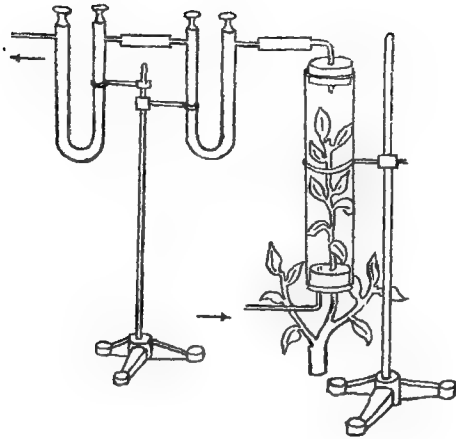
ولقياس النتج طرق كثيرة أهمها :

١ — طريقة ورقة كلورور الكوبلت :

وهذه الطريقة مبنية على ظاهرة معروفة وهى أن كلورور الكوبلت عندما يكون جافاً يعطى لوناً أزرق ولكن عند ترطيبه بالماء يصبح لونه وردياً . ولإجراء هذه الطريقة يشبع بعض ورق الترشيح بمحلول كلورور الكوبلت $\frac{3}{4}$ ثم يترك ليجف فى الفرن وينقل بعد تمام جفافه فى مجفف يحتوى على كلورور الكالسيوم اللامائى . فعند تغطية سطح الورقة النباتية بورقة كلورور الكوبلت الجافة ، وتغطية ورقة الكوبلت بلوح زجاجى يمنع عنها أثر الرطوبة الجوية فإن ورقة الكوبلت تتحول بعد مدة من اللون الأزرق إلى اللون الوردى بتأثير الماء المتبخر من سطح الورقة النباتية . وبمعرفة الوقت اللازم لى يتحول لون الورقة يمكن مقارنة معدل النتج بين أوراق النباتات المختلفة . إلا أن هذه الطريقة لا يصح استعمالها للتقدير الكيى ويكتفى باستعمالها للتقدير الوصنى والمقارنة . ولو أنه أدخل عليها بعض التعديلات إلا أنه حتى بعد هذه التعديلات فإنها لا زالت معرضة للنفد . فمثلاً وضع ورقة الكوبلت على ورقة النبات ثم وضع لوح زجاجى فوقها لا يسمح للورقة أن تنتج تتحاً طبيعياً كما لو كانت تحت الظروف العادية .

٢ — طريقة فريمان : Freeman's method

تتلخص هذه الطريقة فى إمرار تيار هوائى خال من بخار الماء (بإمراره على كلورور الكالسيوم اللامائى أو خامس أكسيد الفسفور) بسرعة معينة على فرع نباتى موضوع فى حيز معين ولا يزال الفرع متصلاً بالنبات (شكل ٢٧) ثم إمرار تيار الهواء الخارج فى أنابيب تحتوى على كلورور الكالسيوم الجاف معلومة الوزن ليقوم بامتصاص بخار الماء الذى يحمله تيار الهواء المار على النبات فى مدة معينة . فبإعادة وزن أنابيب كلورور الكالسيوم يمكن معرفة كمية الماء المفقود بالنتج فى زمن معين .



(شكل ٢٧)

جهاز لقياس سرعة النتح بطريقة فريمان

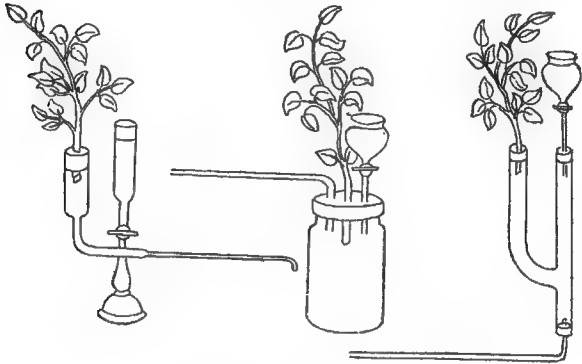
٣ — طريقة الوزن :

تعتبر هذه الطريقة أفضل الطرق التي يمكن الاعتماد عليها لقياس النتح. ولإجرائها يؤخذ نبات منزوع في أصيص وينظف سطح التربة وجدران الأصيص ببطقة من الشمع أو المطاط حتى لا يفقد الماء إلا عن طريق المجموع الخضري للنبات ثم يوزن الأصيص والنبات على قترات مختلفة ويسجل مقدار الفقد في كل مرة ويساوى في قيمته كمية الماء التي فقدها النبات .

٤ — طريقة البوتومتر :

تستعمل في هذه الطريقة الأفرع المقطوعة وليس النبات الكامل كما في الطريقتين السابقتين والطريقة أن تقطع الأفرع تحت سطح الماء وتثبت في البوتومتر. وللبوتومتر أشكال عديدة كالمبين في (شكل ٢٨) ثم يجفف البوتومتر من الخارج جيداً ويوزن

ويترك بعض الوقت ثم يعاد وزنه وتكرر التجربة عدة مرات ويسجل النقص في الوزن ومنه يمكن إيجاد معدل النتح في وحدة الزمن . ويلاحظ أن القراءة التي على تدرج البوتومتر لا يمكن اتخاذها مقياساً للنتح لأنها في الواقع تساوي قيمة ماء النتح زائداً الماء الذي امتصه النبات لأغراضه الأخرى .



(شكل ٢٨)

ثلاثة أشكال مختلفة للبوتومتر

توزيع الثغور على سطح الورقة :

يختلف عدد الثغور في الوحدة المربعة لأوراق النباتات المختلفة اختلافاً كبيراً . وحتى في النبات الواحد فإن عدد الثغور في الوحدة المربعة من سطح الورقة العلوى يختلف عددها في السطح السفلى للورقة . ففي أوراق النباتات العادية كالبرسيم تكثر الثغور على السطح السفلى للورقة عنها في السطح العلوى . وقد تستخدم الثغور كلفة على السطح العلوى لأوراق كثير من النباتات خصوصاً في الأوراق الجلدية .

أما في الأوراق القائمة كأوراق بعض الحشائش والنباتات العصارية فإن عدد الثغور على السطحين يكون واحداً ، وفي الأوراق الطافية للنباتات المائية توجد

الثغور على السطح العلوى فقط. وعلى العموم فإن الثغور تكثر على الأسطح الأكثر حماية من تأثير الحرارة والضوء. والجدول الآتى يبين عدد الثغور فى المليمتر المربع للنباتات المختلفة (عن Skene ١٩٢٤)

عدد الثغور فى المليمتر المربع	اسم النبات	
	على السطح العلوى	على السطح السفلى
٠	٤٦٠	البشنيين الأبيض
٣٤٦	٠	البلوط
٢٤٦	٠	التفاح
١٢٣	٦١	الجنتيانا
٣٠٨	١٨٧	المستحية
٣٢	٤٧	القمح

ويختلف توزيع الثغور على السطح الواحد من الورقة فهى أكثر تكاثفاً حول العرق الوسطى ثم تقل تدريجياً كلما اتجهنا إلى الحافة .

ويلاحظ أن مجموع مساحة فتحات الثغور فى الورقة يكون قليلاً جداً بالنسبة إلى المساحة الكلية لها . ففي نبات عباد الشمس يوجد ٣٣٠ ثغراً فى المليمتر المربع ويشغل الثغر الواحد عند تمام انفتاحه مساحة قدرها ٠,٠٠٠٠٩٠٨ من المليمتر المربع فيشكل مجموع مساحاتها ٠,٠٣ من المليمتر المربع أى أن مساحة الثغور تساوى ٣ ٪ من مساحة الورقة الكلية .

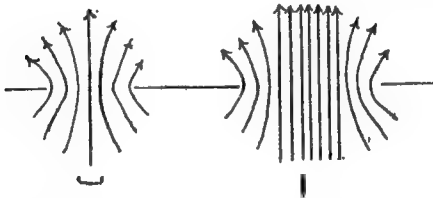
السعة الانتفاخية للثغور Diffusive capacity of stomata

لاحظ Bakka (١٩١٤) أن كمية الماء التى تفقدتها ورقة عباد الشمس تعادل ٦٠ ٪ من كمية الماء المتبخر من سطح معرض من الماء يساوى فى مساحته مساحة سطح ورقة عباد الشمس مع أن مساحة فتحات ثغور الورقة تعادل فقط ٣ ٪ من مساحة سطحها . وواضح من ذلك أنه لو كان معدل التبخ يتناسب مع مساحة فتحات

الثغور بالنسبة للمساحة الكلية للسطح الناتج لما زادت نسبة التح عن ٣ ٪ وعلى ذلك فإن بخار الماء ينتشر من الثغور بمعدل يزيد ٢٠ مرة من معدل انتشاره من مساحة مساوية من سطح التبخير المعرض للهواء الجوى مباشرة .

وتفسر هذه الظاهرة بالقوانين الطبيعية الخاصة بانتشار الغازات خلال فتحات ضيقة . فمن المعروف أن معدل انتشار الغازات خلال فتحات مختلفة الأقطار لا يتناسب مع مساحة الفتحات بل يكون متناسباً مع أقطارها .

ولتفسير ذلك نفرض أن لدينا حاجزاً به ثقبان ١ و ٢ (شكل ٢٩) وأن الثقب (١) أوسع من الثقب (٢) ونريد الآن أن نرى طريقة انتشار الغازات خلال كل منهما على حدة ..



(شكل ٢٩ أ و ب)

رسم تخطيطي يبين خطوط انتشار الغازات خلال ثقب واسع (أ) وثقب ضيق (ب)

من الرسم يضح أن الغازات تنتشر من مركز الثقب في اتجاه رأسى ويتبع ذلك بالطبع تناسب سرعة الانتشار مع مساحة الثقب طردياً . أما عند محيط الثقب فإن الغازات تنتشر في اتجاه جانبي بالإضافة إلى الاتجاه الرأسى وهذا يؤدي إلى زيادة معدل الانتشار من الأجزاء المحيطية عن الأجزاء المركزية . وحيث أنه في الثقب الواسع تكون الأجزاء الحافية أو المحيطية فيها قليلة بالنسبة إلى مساحة الثقب الكلية فإن معدل الانتشار في هذه الثقب يتناسب مع مساحتها . وكلما قلت مساحة الثقب زادت نسبة الأجزاء المحيطية إلى مساحة الثقب الكلية حتى أنها تشغل جميع

مساحة الثقب في الثقوب الصغيرة جداً وعلى ذلك فإن معدل الانتشار يكون متناسباً مع طول الحافة وبالتالي مع قطر الثقب . فكلما قلت مساحة الثقب كلما زاد معدل الانتشار بالنسبة للوحدة .

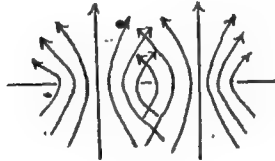
وعلى ذلك فإذا استعمل حازن أحدهما يحتوى على ثقب واحد كبير والآخر يحتوى على عدد من الثقوب الصغيرة تساوى في مجموع مساحاتها مساحة الثقب الواحد فإن معدل الانتشار من مجموع الثقوب الصغيرة يفوق كثيراً معدل الانتشار من الثقب الواحد الواسع .

والجدول الآتي يبين النتائج التي حصل عليها Brown and Escombe عند استعمال حواجز مصنوعة من السيلولويد ومثقبة بثقوب مختلفة العدد وقطر الثقب الواحد ٠,٣٨ من المليمتر والثقوب موزعة على أبعاد مختلفة في الحواجز المستعملة :

عدد الثقوب في الحاجز عن مضمها مع حساب المسافة بينها بأقطار الثقوب	عدد الثقوب في السنتمتر المربع في الحاجز	مجموع مساحة الثغور في المائة بالنسبة لمساحة الحاجز	معدل الانتشار الحادث في المائة في لو كان الانتشار خلال ثقب واحد	معدل الانتشار النظري في المائة فيما لو كان الانتشار خلال ثقب واحد
٢,٦٢	١٠٠,٠٠	١١,٣٤	٥٦,١٠	٨٧,٦٠
٥,٢٦	٢٥,٠٠	٢,٨٢	٥١,٧٠	٦٣,٧٠
٧,٨٠	١١,١١	١,٢٥	٤٠,٦٠	٤٤,٠٠
١٠,٥٠	٦,٢٥	٠,٧٠	٣١,٤٠	٣٠,٧٠
١٣,١٠	٤,٠٠	٠,٤٥	٢٠,٩٠	٢١,٩٠
١٥,٧٠	٢,٧٧	٠,٣١	١٤,٠٠	١٥,٥٠

ويتضح من هذا الجدول أنه عندما كانت مجموع مساحة الثقوب في الحاجز تساوي ١١,٣٤٪ من مساحة الحاجز كان معدل انتشار الغازات خلالها مساوياً ٥٦,١٠٪ فيما لو كان الحاجز غير موجود . أما عندما كان مجموع مساحة الثغور في الحاجز مساوياً ٠,٣١٪ من مساحة الحاجز كان معدل الانتشار مساوياً ١٤٪ أي أن معدل الانتشار خلال ثقوب الحاجز يعادل ٥٠ مرة معدله فيما لو جمعت الثقوب كلها في ثقب واحد .

ومن هذا الجدول يتضح أيضاً أنه عندما كانت الثقوب متناوبة جداً من بعضها حدث تداخل (شكل ٣٠) ذلك لأن تجاور الثقوب بسبب تداخل الخطوط التي تمثل انتشار الغازات خلالها والتي تنحرف جانباً عند مغادرتها للثقب فيقل معدل انتشارها تبعاً لذلك . وبين العمود الأخير من الجدول السابق الحساب النظرى لمعدل الانتشار إذا لم يحدث هذا التداخل . ويتضح كذلك من الجدول أن القيمة النظرية لمعدل الانتشار تساوى القيمة الفعلية فيما لو كانت الثقوب تبعد عن بعضها بما لا يقل عن عشرة أمثال قطرها ، وعندما كانت المسافة بينها أقل من ذلك حدث التداخل وقلت قيمة الانتشار الفعلية عن القيمة النظرية .



(شكل ٣٠) يبين خطوط انتشار الغازات من ثقبين متجاورين . لاحظ تداخل الخطوط المتجاورة مما يعطل من عمية الانتشار وهناك عامل آخر يؤثر في معدل انتشار الغازات من الثغور الضيقة هو سمك الحاجز المثقب . ففي حالة ما إذا كان الثقب عميقاً فإن معدل الانتشار يقل عما لو كان الثقب سطحياً وعلى ذلك فيمكن تشبيه سطح الورقة المحتوى على الثغور بحاجز مثقب يفصل سطح الورقة الداخل عن الجو ، ولعل ذلك يفسر لنا ارتفاع النتج النسبي للأوراق .

ملاحظة

النتج النسبي هو نسبة معدل فقد الماء من سطح نباتى إلى معدل فقدته من سطح مائى مماثل له في المساحة ومعرض للهواء الجوى وتحت نفس الظروف .

فتح الثغور وقفلها وعمرق ذلك بالضوء والظلمة :

من المعروف أن عملية فتح وقفل الثغور تحدث نتيجة لامتلاء وعدم امتلاء

الخلايا الحارسة . وتمتاز جدران الخلايا الحارسة بعدم تساوى تغليظها .
ومن المعروف كذلك أن الثغور تفتح فى الضوء وتغلق فى الظلام غير أن هذه
ليست القاعدة دائماً فى معظم النباتات .

وقد وضعت نظريات كثيرة لتفسير ظاهرة امتلاء الخلايا الحارسة وعدم امتلائها .
ويلاحظ أن هذه النظريات جميعاً تساند بعضها بعضاً ولا بد من الأخذ بها مجتمعة
لتساعدنا على فهم هذه الظاهرة .

وأولى هذه النظريات مبنية على احتواء الخلايا الحارسة للجهاز الثغرى على
البلاستيدات الخضراء وخلو خلايا البشرة العادية منها عما دعا إلى الظن بأنه عند إضاءة
هذه الخلايا فإن البلاستيدات الخضراء فى الخلايا الحارسة تقوم بعملية التمثيل الكربونى
فتكون السكريات الذائبة التى ترفع من قيمة الضغط الأزموزى للعصير الخلوى للخلايا
الحارسة فتزداد قوة امتصاصها فتجذب الماء إليها وتنتفخ وبذلك يفتح الثغر . وقد
أثبت البحث أن الضغط الأزموزى للخلايا الحارسة قد يبلغ ٩٠ ضغطاً جويّاً فى
الضوء بينما يبقى الضغط الأزموزى لخلايا البشرة الأخرى ١ هذه القيمة ، ويحدث فى
الظلام أن ينخفض الضغط الأزموزى للخلايا الحارسة إلى أقل من قيمته فى خلايا
البشرة فينتج عن ذلك قفل فتحة الثغر . والجدول الآتى يبين التغير فى الضغط
الأزموزى للخلايا الحارسة وخلايا البشرة لنبات البنجر فى ساعات النهار المختلفة

[من نتائج Wiggans (١٩٢١)]

الساعة	الخلايا الحارسة	خلايا البشرة
٧ صباحاً	٢٣,٥ ض . ج	١٢,٥ ض . ج
٩	٢٢,٠	"
١١	٣١,٦	"
١ بعد الظهر	٣١,٦	"
٣	٣٠,٢	"
٥	٢٥,٠	"

وواضح من هذا الجدول أن الخلايا الحارسة فقط هي التي يتزايد ضغطها الأزموزي مع ساعات اليوم بينما يبقى الضغط الأزموزي لخلايا البشرة ثابتاً .

وقد أظهرت التجارب أن زيادة الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة الذي يسبب فتح الثغور لا يمكن أن يعزى إلى قيام هذه الخلايا بعملية التمثيل الكربوني فقط لأن بعض الخلايا الحارسة كما في حالة الدوراتا المبرقشة لا تحتوي على بلاستيدات خضراء وبذلك لا يمكنها القيام بعملية التمثيل الكربوني وفي مثل هذه الحالة الأخيرة فإن فتح الثغر يعزى إلى تحلل النشاء المخزن تحليلاً مائياً . إلى سكر ذائب يزيد من الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة . وقده وجد أن الخلايا الحارسة لجميع النباتات — حتى تلك التي لا يتكون بأوراقها النشاء كأوراق نباتات ذات الفلقة الواحدة — تحتوي على النشاء .

وقد لاحظ سعيد وطلبة (١٩٤٨) أن اتفاخ الثغر يكون مصحوباً بنقص في المحتوى النشوي للخلايا الحارسة وأنه يزداد عند قفلها . وعلى ذلك فإن عمل الخلايا الحارسة في الضوء هو عكس ما عمله خلايا الميزوفيل لأن الأخيرة في نباتات ذات الفلقتين تبني السكر الذي سرعان ما يتحول إلى النشاء في الضوء وتحله إلى سكر في الظلام .

إلا أن Sayre (١٩٢٦) أثبت أن تحول النشاء إلى سكر والعكس إنما يرجع إلى التغير في الأس الأيروجيني للخلايا الحارسة (pH) فعندما عرض أوراق نبات الحامض *Rumex* لبخار الأمونيا في الظلام فإن ثغورها انفتحت رغم وجودها في الظلام . وعندما نقل الأوراق إلى جو حامضي قفلت الثغور وهي في الضوء . وبناء على هذه التجارب وضع نظريته القائلة بأنه في الظلام يتراكم غاز (ك_٢) الناتج من التنفس في الخلايا الحارسة ويعمل على خفض رقم (pH) في عصيرها الخلوي وهذه الحالة تناسب تكوين النشاء من السكريات الذائبة وبذا ينخفض الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة وينتص محتواها المائي فتقفل فتحة الثغر . أما في الضوء فإن عملية التمثيل الكربوني تستهلك (ك_٢) الناتج من عملية التنفس ويتبع ذلك ارتفاع رقم (pH) للعصير الخلوي وهذه الحالة تلائم تحلل النشاء إلى سكر وبذا يرتفع

الضغط الأزموزى للخلايا الحارسة فتجلب إليها الماء وتتفخخ ويفتح الثغر تبعاً لذلك . ويرى Scarth (١٩٢٦ — ١٩٢٧) أن عملية فتح وقفل الثغور تحدث بسرعة كبيرة لذلك فإنه يصعب تفسيرها على ضوء تحول النشاء إلى سكر والعكس لأن عمل أنزيم الدياستيز من البطء بحيث يحتاج إلى بعض الوقت قبل أن يحدث التغير في السكر أو النشاء . فقد لوحظ أن دقيقة واحدة تكفى لكي تفتح ثغور ورقة البلاجونيا عند تعريضها للضوء ، لذلك فهو يرى أن الضوء يسبب رفع رقم (pH) للعصير الخلوى وهذا يزيد من قابلية المحتويات الغروية للخلية للتشرب بالماء فتتص الماء من الخلايا المجاورة بقوة التشرب ويفتح الثغر تبعاً لذلك . أما في الظلام حينما ينخفض رقم (pH) لترك (ك١) في العصير الخلوى للخلية فإن المحتويات الغروية لجدران الخلية تقل قدرتها على الاحتفاظ بماء التشرب الذى يتسرب إلى الخلايا المجاورة وبذا يقفل الثغر . ويقول Scarth أن تشرب أو عدم تشرب الخلايا الحارسة بالماء لا يسبب إلا سرعة قفلها أو فتحها ، أما سبب بقائها على هذه الحالة فهو تحلل السكر إلى نشاء والعكس كما سبق ذكره أى أنه يتفق مع الآراء السابقة من هذه الناحية ويعزو فقط سرعة الفتح والقفل إلى تشرب وعدم تشرب غرويات الخلايا الحارسة .

العوامل التى تؤثر في معدل النتح :

تؤثر العوامل الخارجية والداخلية تأثيراً كبيراً في معدل النتح . وأهم العوامل الخارجية هى الرطوبة الجوية وحركة الهواء والحرارة والضوء . أما العوامل الداخلية فأهمها المحتوى المائى لخلايا الميزوفيل والجهاز الثغرى .

العوامل الخارجية :

١ — الرطوبة الجوية :

توجد علاقة وثيقة بين معدل النتح ودرجة تشبع الهواء الجوى بالرطوبة فكلما انخفضت درجة رطوبة الجو زاد معدل النتح والعكس بالعكس ، وعلى ذلك فإن معدل النتح يتناسب عكسياً مع درجة الرطوبة الجوية .

٢ — حركة الهواء :

يتسبب عن حركة الهواء إزالة طبقة الهواء الملاصقة لأسطح الأوراق الناتجة والتي تكون أكثر تحملاً بينار الماء من باقى طبقات الهواء الأخرى فيحل محلها هواء جديد أقل تشبعاً بالرطوبة من سابقه فيزداد معدل النتح . أما إذا كان الهواء ساكناً فإن طبقة الهواء الملاصقة للأوراق تظل فى مكانها فيتبل معدل انتشار بخار الماء من الغرفة الهوائية إلى الخارج وبذلك ينزل معدل النتح .

٣ — درجة الحرارة :

من الحقائق المعروفة أن رفع درجة حرارة أى سائل تزيد من معدل تبخيره وعلى ذلك فكلما ارتفعت درجة حرارة النبات ازداد معدل التبخير من الخلايا المحيطة بالغرفة الهوائية فيزداد تركيز بخار الماء بالغرفة ويزداد معدل انتشاره خلال فتحة الثغور . وكذلك إذا ارتفعت درجة حرارة الجو زادت قابليته للتشبع ببخار الماء وذلك مما يساعد على سرعة تبخير الماء من الأوراق فيزداد معدل النتح .

ويختلف تأثير الحرارة على معدل النتح باختلاف النباتات فقد لاحظ Briggs and Shantz (١٩١٥) أن الخط البياني الذي يمثل النتح فى نباتات التمع والشوفان والبرسيم الحجازى قد جاوز نظيره الذي يمثل درجة الحرارة بينما يسير الخطان بنسبة واحدة فى نبات الراى Rye والذرة السكرية أما فى نبات الأمرنثس *Amaranthus* فإن خط النتح البياني تأخر عن نظيره الذي يمثل الحرارة . وقد لاحظ Kosaks (١٩٣٣) أن معدل النتح فى الأوراق التى تحتوى على نسبة عالية من صبغة الأثوسيانين اخراء يزيد عنه فى الأوراق التى تحتوى على نسبة أقل من هذه الصبغة ، وقد فسر هذا الفرق فى معدل النتح بأن الأوراق التى تحتوى على نسبة أعلى من صبغة الأثوسيانين يكون معدل امتصاصها للحرارة أكبر من التى تحتوى على نسبة أقل من هذه الصبغة .

٤ — الضوء :

سبق أن أوضحنا تأثير الضوء على عملية فتح وقفل الثغور . وقد وجد Henderson

(١٩٢٦) أنه يزيد من معدل التفتح بنسبة ٥ ٪ منها ١ ٪ يعزى إلى التأثير الحرارى للضوء .
وقد يزيد الضوء من معدل التفتح بعامل أو أكثر من العوامل الآتية :

(ا) قد يسبب رفع درجة حرارة الورقة بأن يتحول جانب منه بواسطة المادة الخضراء إلى طاقة حرارية فترتفع درجة حرارة الورقة المضاءة ويزداد تبعاً لذلك معدل التفتح .

(ب) قد يسبب الضوء تحول بعض جزيئات الماء إلى بخار بإعطائها الطاقة اللازمة وذلك بدون حاجة إلى رفع درجة حرارة الورقة .

(ح) قد يحدث تغيراً في درجة تشرب الجدران الخلوية بالماء فيجعل جدران الخلايا أكثر نفاذية للماء فيزداد معدل التفتح .

(د) وقد يكون الضوء سبباً في زيادة نفاذية الجدار البروتوبلازمى فيسهل مرور الماء من البروتوبلازم إلى جدار الخلية فيرفع الضغط البخارى للسطح الخارج ويرتفع تبعاً لذلك معدل التفتح .

ولنوع الضوء تأثير كبير على معدل التفتح فقد لوحظ أن لألوان الطيف المختلفة تأثيرات مختلفة على معدله وذلك لاختلاف أطوال موجاتها فتختلف بذلك مقدرة الأوراق الخضراء على امتصاصها ، فقد لوحظ أن اللون الأحمر - وهو أطول أمواج الطيف - يزيد كثيراً من معدل فتح الأوراق بينما يقل معدله في الضوء الأزرق لأنه أقصر أمواج الطيف .

العوامل المرافعية :

١ - المحتوى المائى للفسيج الميزوفيل :

أثبت التجارب أن الخط البياني الذى يمثل معدل التفتح لا ينطبق على الخط البياني الذى يمثل معدل التبخير من السطح المائى المعرض للهواء الجوى تحت نفس الظروف فبينما يأخذ معدل التفتح في الزيادة كلما تقدم النهار حتى يصل إلى أقصاه حوالى الظهر ثم يتناقص ، نجد أن معدل التبخير يأخذ في الزيادة لوضع ساعات أخرى بعد الظهر

قبل أن يبدأ في النقصان . والسبب في ذلك هو اختلاف تركيب السطحين . ذلك أن الماء يوجد في النبات على شكل خيوط مائية شعرية في جدران الخلايا ، فإذا تبخر الماء من أطرافها تراجع في الخيوط الشعرية وزاد تقعر سطحه وازداد تبعاً لذلك توتره السطحي وقلت مقدرة الماء على التبخر وهذا يفسر بدء نقص معدل النتج تحت ظروف لا تزال ملائمة لعملية التبخير من الأسطح المائية المعرضة . وعندما يرتفع معدل النتج ويجاوز معدل امتصاص النبات للماء ينقص المحتوى المائي للورقة تدريجياً وتزداد درجة تقعر نهايات الخيوط المائية وينخفض تبعاً لذلك فقد الماء من خلايا الورقة تدريجياً إلى أن يذبل النبات ويقل نتجه إلى درجة كبيرة .

٢ — الجهاز الثغرى :

فتحة الثغر هي الطارق الوحيد الذي يخرج منها بخار الماء في عملية النتج ولذلك فهي من أهم العوامل التي تؤثر في معدله .

ويختلف عدد الثغور في الوحدة المربعة باختلاف النباتات ، وطبيعى أنه كلما زاد عدد الثغور زاد معدل النتج . ويجب ملاحظة أن الأوراق الصغيرة يكون معدل النتج فيها أعلى منه في الأوراق الكبيرة لنفس النبات ، وذلك راجع إلى احتواء الوحدة المربعة من الأوراق الصغيرة على عدد أكبر من الثغور لنفس الوحدة في الأوراق الكبيرة . هذا بغض النظر عن ارتفاع قيمة النتج الأدنى في الأوراق الصغيرة .

وأوراق النباتات التي تكثر الثغور فيها على السطح السفلي يكون معدل النتج فيها أقل تأثراً بالعوامل الجوية منه في الأوراق التي تتوزع الثغور فيها على السطحين أو تغلب على السطح العلوى .

ويتأثر معدل النتج بسعة فتحة الثغر وذلك في مجال معين . فقد وجد أنه يتأثر خلال الأطوار الأولى لحركة فتح الثغور مهما كان التغير فيها طفيفاً . أما فيما عدا ذلك فلا يكاد معدل النتج يتغير بتغير فتحة الثغر . ويؤخذ من أبحاث Lottfield أن معدل النتج يزداد تبعاً لازدياد فتحة الثغر حتى تصل إلى نصف فتحته النهائية وبعد ذلك يتأثر معدل النتج بعوامل أخرى خلاف فتحة الثغر .

الباب الثاني

نفاذية الخلية النباتية

The Problem of Cell Permeability



سبق أن أوضحنا أن الخلية النباتية مغلقة بغلافين أو غشائين هما الغشاء البلازمي الرقيق الحى والجدار السيلولوزى غير الحى ، وأن الغشاء البلازمى يكون جزءاً من البروتوبلازم وأنه يعتبر غشاءً شبه منفذ وأنه يتوهم بتنظيم نفاذية الخلية بالنسبة للذائبات المختلفة . أما الجدار الخلوى السيلولوزى فقد اعتبر غشاءً منفذاً انفاذاً تاماً بالنسبة للماء والأملاح الذائبة فيه ما لم يدخل فى تركيبه مادة أو مواد تقلل من نفاذيته أو تبطلها . وقد يحدث أحياناً أن تسلك الجدر الخلوى للخللايا الخارجية فى بعض النباتات مسلك الأغذية شبه المنفذة . فقد لاحظ براون Brown (١٩٠٧ - ١٩١٥) هذه الظاهرة فى خلايا حبوب الشعير التى عندما غمرها فى محاليل ملحية من كبريتات النحاس أو أزونات الفضة أو غيرها أنها أنفذت الماء ولم تنفذ الأملاح الذائبة به . وفى إحدى تجاربه لاحظ أنه عندما غمر بذور الشعير الأزرق Blue barley فى محلول حامض الكبريتيك ١ ٪ لم يتغير لون الصبغة الزرقاء الموجودة فى الطبقة الأليرونية حتى بعد تركها فيه بضعة أيام . ولكن عندما خدشت الخلايا الخارجية بواسطة دبوس فإن اللون الأزرق تحول فى الحال إلى اللون الأحمر دليل على أن الحامض قد نفذ من الجدار الممزق إلى الطبقة الأليرونية المحتوية على المادة الزرقاء . وعندما غمر البندوب فى حامض الكبريتيك ١ ٪ لبضعة أيام ثم غسلها بالماء أنبتت بنجاح تام . ولإثبات أن خاصية شبه النفاذية موجودة فى الجدار الخلوى وليست فى الجدار البروتوبلازمى فقد غليت الحبوب فى الماء لمدة ساعة وذلك لقتل الجدار البروتوبلازمى وإبعاد تأثيره على النفاذية فسلكت هذه البذور مسلك البذور الأخرى التى لم تغل .

ويظهر أن ظاهرة شبه النفاذية للجدار الخلوى شائعة في كثير من الجدر الخلوية للنبور لذلك يجب مراعاة ذلك عند دراسة النفاذية في الخلية .

أما الغشاء البلازى فيعتبر منفذاً للماء انفاذاً تاماً إلا أن هذه النفاذية تزداد أو تنقص بتغير الظروف . أما فيما يخص بانفاذه للذائبات فنلاحظ أنه يسمح لبعضها بالنفاذ بدرجة كبيرة بينما يمنع أو يعوق إلى حد كبير انفاذ البعض الآخر . وتغير درجة النفاذية بتغير ظروف البيئة .

وتختلف المواد التى ينفذها الغشاء البلازى من حيث تركيبها الكيماوى والطبيعى اختلافاً كبيراً فبعض هذه المواد يذوب فى الماء بسهولة تامة كالسكريات والأملاح غير العضوية والأحماض العضوية وبعض المواد الملوثة بينما لا يذوب البعض الآخر فى الماء كالمواد الدهنية الناتجة من عمليات التحول الغذائى وبعض المواد الملوثة . وحيث أن الغشاء البلازى يتكون من مواد متباعدة كما قدمنا فمن المعتقد أن المواد التى تقبل الذوبان فى الماء تنفذ بسهولة فى مركباته التى تمص الماء بينما تنفذ المواد الأخرى فى خلال أجزائه شبه الدهنية (الليبويديه) .

وتنقسم المواد الذائبة التى ينفذها الجدار البروتوبلازى إلى قسمين :

(أ) مواد ذائبة متأينة (الكتروليتية) Electrolytes

(ب) مواد ذائبة غير متأينة (غير الكتروليتية) Non electrolytes

نفاذية المواد الكتروليتية :

عندما تذاب المواد الكتروليتية فى الماء فإنها تتأين فيه وتدخل الأيونات المختلفة الخلية باستتلال تام عن بعضها البعض . فقد تدخل الأيونات الموجبة للمح الواحد مثلاً الخلية بينما تبقى الأيونات السالبة كلها أو بعضها خارج الخلية . ولكى يصبح الاتزان الكهربائى صحيحاً فلا بد أن يحل محل الأيونات التى دخلت الخلية كمية أخرى مساوية لها فى الكمية والنوع ، وهناك احتمالات ثلاث لحدوث هذا الاتزان : الاحتمال الأول يكون بتأين جزيئات الماء نفسها إلى أيونات الأيدروجين

وأيونات الايدروكسيل بدرجة يحددها الفرق بين عدد الأيونات الموجبة والسالبة التي تدخل الخلية ويصحب أحدها الأيونات الزائدة إلى داخل الخلية . فإذا كان الأيون المتص من الملح بدرجة أكبر ذو شحنة موجبة فإنه يكون مصحوباً عند دخوله الخلية بأيونات الايدروكسيل أما إذا كان من النوع السالب الشحنة فإنه يكون مصحوباً بأيونات الايدروجين . ويمكن بناءً على هذه النظرية تعليل تحول بعض المزارع المائية إلى الحموضة أو القلوية أثناء نمو النبات فيها .

أما الاحتمال الثاني فيكون ببادل أيونات مكافئة من نفس الشحنة الكهربائية بين الخلية والوسط الخارجي . فقد يحدث أن تمتص الخلية عدداً من أيونات البوتاسيوم نظير خروج عدد مكافئ لها من أيونات الصوديوم .

وهناك احتمال ثالث تمكن به الخلية من امتصاص الأيونات امتصاصاً غير متساوٍ وذلك مع المحافظة على الاتزان الكهربائي داخل الخلية وفي الوسط الخارجي . فإذا امتصت الخلية أحد الكاتيونات بدرجة زائدة فإن الخلية تنتج من الأحماض العضوية ما يكافئ هذه الكاتيونات الزائدة الممتصة فتبقى أيونات الأحماض العضوية داخل الخلية لتوازن الكاتيونات الممتصة بينما تخرج أيونات الايدروجين (H^+) إلى الوسط الخارجي لتوازن الأنيونات الزائدة التي تركت في الخارج . أما إذا امتصت الخلية كمية زائدة من الأنيونات فإنه يحتج من الأحماض العضوية ما يساوي الكمية الزائدة الممتصة من هذه الأنيونات . وفي هذه الحالة يخرج من الخلية كمية من أيونات البيكربونات (HCO_3^-) الذي ينتج من عملية التنفس لكي يحقق الاتزان الكهربائي في الوسط الخارجي .

وإن ظاهرة عدم التساوي في امتصاص أيونات الملح الواحد من الظواهر المألوفة فقد لاحظ Rühland (١٩٠٩) أن شراخ الجرز والبنجر امتصت من الكاتيونات عندما غذيت صناعياً بمحلول كلورور الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم ، بينما امتصت شراخ جذور الجرز من الأنيونات أكثر مما امتصته من الكاتيونات من محلول أوزنات البوتاسيوم .

. ولاحظت Redferm (١٩٢٢) أن نباتات الذرة والبسلة عندما غذيت بمحلول من كلورور الكالسيوم امتصت من أيونات الكالسيوم أكثر مما امتصته من أيونات الكلور ، وأن أيونات الكالسيوم الممتصة قد عوضت بخروج أيونات من المغنسيوم والبولتاسيوم من أنسجة النبات إلى البيئة الخارجية .

وقد أوضحت التجارب التي أجريت على شرائح الجزر أن عملية امتصاص الأيونات المختلفة بدرجة غير متساوية إنما ترجع إلى ظاهرة الحياة في الخلية . ففي تجربة أحضرت شرائح حية وشرائح مقتولة من البنجر وغمست — كل منها على حدة — في محلول من كلورور المغنسيوم فامتصت الشرائح الحية من الأيونات أكثر مما امتصته من الكاتيونات ، أما الشرائح المقتولة فقد امتصت الأيونات والكاتيونات بدرجة متساوية .

امتصاص النبات للعناصر

يمتص النبات العناصر الغذائية على صورة أملاح ذائبة في ماء التربة بواسطة مناطق الامتصاص من مجموع الجذرى ، وهذه العناصر الغذائية إما أن تضاف إلى التربة على صورة أسمدة غير عضوية كالنترات والكبريتات والفوسفات أو تنتج من تحلل بعض البقايا النباتية أو الحيوانية التي توجد عادة في التربة . وقد تنتج أيضاً نتيجة لتحلل الأسمدة العضوية المضافة إلى التربة التي هي في الواقع بقايا حيوانية أو نباتية . هذا وقد تنفرد بعض العناصر الغذائية نتيجة لنشاط بعض أنواع البكتيريا والفطر فيمتصها النبات كما سيأتى الكلام عليه في حينه .

ولست عملية امتصاص العناصر من العمليات البسيطة بل هي عملية معقدة غاية التعقيد . ولقد وضعت لذلك عدة نظريات ، ومع ذلك لا يمكن اعتبار إحدى هذه النظريات كافياً لتفسير كيفية امتصاص العناصر وعلى ذلك فيجب اعتبار جميع هذه النظريات والفروض مكتملة لبعضها .

ويقول بعض الباحثين بأن الأيونات الممتصة قد تدخل في تفاعل كيميائي بمجرد

دخولها الخلية ولذلك يستمر دخولها في الخلية رغم انخفاض تركيزها في الخارج .

ويمكن بتجربة بسيطة إظهار عملية التحول الكيماوى بأن يحضر كيس مصنوع من غشاء يسمح بنفاذ الدقائق الصغيرة ولا يسمح بنفاذ الدقائق الغروية الكبيرة كغشاء ورق السيلوفان ويملأ الكيس بمحلول مخفف من حامض الثنيك ويوضع الكيس في وعاء يحتوى على محلول مخفف من كلورور الحديدك فنلاحظ أن جزيئات كلورور الحديدك تأخذ في الانتشار إلى داخل الكيس ولكنها تتحد بمجرد دخولها بحامض الثنيك مكونة ثبات الحديد وهى مادة غروية لا يسمح لها الغشاء بالنفاذ فتظل داخل الكيس وعلى ذلك تستهلك كل جزيئات كلورور الحديدك المنتشرة أولاً بأول في هذا الاتحاد الكيماوى ويكون تركيزها دائماً منخفضاً داخل الكيس عنه في خارجه ، وعلى ذلك يستمر انتشارها ويأخذ تركيز كلورور الحديدك في القلة في الوعاء الخارجى إلى أن يصبح تركيزه صفراً ويختفى تماماً من المحلول .

أما إذا استبدل محلول حامض الثنيك داخل الكيس بالماء المقطر فإن جزيئات كلورور الحديدك تأخذ في الانتشار إلى أن يتساوى تركيزها في الداخل وفي الخارج طبقاً لقوانين الانتشار .

وتفسر لنا نظرية التحول الكيماوى كيف ينتقل السكر من أماكن صنعه بالأوراق إلى أماكن ادخاره في الدرنات أو الثمار على صورة نشاء وبذلك يظل تركيز السكر منخفضاً في أعضاء الادخار مما يشجع على استمرار انتقاله إليها .

ومن نتائج بعض التجارب وجد أن أزوتات البوتاسيوم تستمر في الدخول إلى الفجوة العصارية إلى أن يبلغ تركيزها داخل الفجوة أضعاف تركيزها خارجها ومع ذلك فإنها تستمر في الدخول . ويؤخذ من نتائج Hoagland & Davis (١٩٢٣) على طحلب النيتلا *Nitella* أن درجة التوصيل الكهربائى لمحلول بفوتها زاد ٢٥ مرة عن درجة التوصيل الكهربائى للماء الذى يعيش فيه الطحلب وذلك يدل أيضاً على انتشار الذائبات وتراكبها داخل الفجوة .

كما ظهر من نتائج أبحاث Stiles & Kidd أن تركيز المحلول الخارجى أثر كبير على معدل انتشار دقايقه . فعندما غمست شرائح الفجل والبطاطس فى محاليل ذات تركيزات مختلفة فإن الامتصاص بلغ حد الاتزان بعد مضى ٤٠ — ٥٠ ساعة . وعند بلوغ حالة الاتزان لم يكن التركيز فى الداخل مساوياً له فى الخارج وإنما توقف على درجة تركيز المحلول الخارجى . فى التركيزات المخففة بلغ التركيز فى الداخل عند الاتزان أضعافه فى الخارج . بينما فى المحاليل المركزة كان التركيز فى الداخل أقل منه فى الخارج . وعلى ذلك فبينما كانت كمية الأملاح الممتصة فعلاً من المحاليل المركزة أكبر منها فى المحاليل المخففة فإن نسبة الامتصاص (وهى تساوى نسبة التركيز الداخلى إلى التركيز الخارجى) فى التركيزات العالية كانت أقل منها فى التركيزات المنخفضة .

اتزانه دونان :

ولقد وضع دونان Donnan نظرية الاتزان المعروفة باتزان دونان Donnan equilibrium مفسراً بها كيف تنتشر الأيونات من محاليل منخفضة التركيز إلى الفجوة حيث يكون التركيز فيها عالياً بدون أن تدخل فى اتحاد كيمائى . إذا وضع غشاء ليفصل بين محلولى مادتين أو ملحيتين وكان هذا الغشاء منفذاً لدقائق هذه الأملاح (أيوناتهما) فإن هذه الأيونات تنتشر خلال الغشاء إلى أن تحدث حالة اتزان عندها تتساوى تركيزات كل مادة على جانبي الغشاء .

أما إذا كانت دقائق المحلول الملحي الخارجى قابلة للنفاذ خلال الغشاء بينما تكون بعض دقائق المحلول الداخلى قابلة للنفاذ والآخرى غير قابلة للنفاذ خلال الغشاء فإنه عند الاتزان لا تتساوى تركيزات الدقائق المنتشرة على جانبي الغشاء .

فإذا وضع داخل الغشاء محلول من بروتينات الصوديوم وهذه المادة تتأين إلى كاتيونات الصوديوم الموجبة وأنيونات البروتين السالبة ، فإن أنيونات البروتين لا يمكنها أن تنفذ خلال الغشاء نظراً لكبر حجمها فظل فى الداخل . أما كاتيونات الصوديوم فبالرغم من صغر حجمها وقابليتها للنفاذ إلا أنها تظل داخل الكيس لانجذابها كهربائياً بأنيونات البروتين .

وإذا وضع هذا الكيس في محلول من كلوريد الصوديوم ، فإن أيونات الكلور وكاتيونات الصوديوم يمكنها أن تنتشر وتنفذ داخل الكيس إلى أن تحدث حالة اتزان يكون عندها حاصل ضرب ص + \times كل - خارج الكيس مساوياً لحاصل ضرب ص + \times كل - داخل الكيس .

فإذا كان تركيز كل من الصوديوم والبروتين في الداخل = t_1 ؟
 و t_2 في الخارج = t_2 والكلور في الخارج = s
 وفرضنا أنه انتشر إلى الداخل من أيونات كل من الصوديوم والكلور عدداً = s
 فإن التركيزات تصبح كالآتي :

في الخارج قبل الانتشار	في الداخل قبل الانتشار
ص + كل -	ص + بر -
t_2 t_1	t_2 t_1
في الخارج بعد الانتشار	في الداخل بعد الانتشار
ص + كل -	ص + بر - كل -
($t_2 - s$) ($s - t_1$)	($t_2 + s$) ($t_1 - s$)

فعند بلوغ حالة الاتزان لابد أن يكون :

($t_2 + s$) ($s - t_1$) = ($t_2 - s$) ($s - t_1$)
 والجدول الآتي يبين تركيزات الأيونات المنتشرة على جانبي الفشاء قبل وبعد بلوغ حالة الاتزان :

تركيز الأيونات بعد الانتشار					تركيز الأيونات قبل الانتشار			
خارج الكيس		داخل الكيس			خارج الكيس		داخل الكيس	
كل -	ص +	كل -	بر -	ص +	كل -	ص +	بر -	ص +
٥٢٤	٥٢٤	٤٧٦	١٠٠	٥٧٦	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠	١٠٠
٦٦٦	٦٦٦	٣٣٣	١٠٠٠	١٣٣٣	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
٩٢	٩٢	٨٠٣	١٠٠٠	١٠٠٨	١٠٠	١٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠

ومن دراسة هذا الجدول يتضح أنه عند الاتزان يكون :

٢ — عدد السكاينونات يساوى عدد الانيونات داخل الغشاء ، وكذلك عدد السكاينونات يساوى عدد الانيونات خارج الغشاء فى جميع حالات التركيز الثلاثة .

ب — عدد السكاينونات \times عدد الانيونات داخل الغشاء
 = عدد السكاينونات \times عدد الانيونات خارج الغشاء
 وذلك للأيونات القابلة للانتشار فقط .
 أى أن :

$$٥٧٦ \text{ ص} + ٤٧٦ \text{ كل}^- = ٥٢٤ \text{ ص} + ٥٢٤ \text{ كل}^-$$

$$١٣٣٣٩ \text{ ص} + ٣٣٣ \text{ كل}^- = ٦٦٦ \text{ ص} + ٦٦٦ \text{ كل}^-$$

$$١٠٠٨٩ \text{ ص} + ٨٠٣ \text{ كل}^- = ٩٢ \text{ ص} + ٩٢ \text{ كل}^-$$

ح — لا يتساوى عدد الأيونات التى من نوع واحد (كأيونات الصوديوم) داخل الغشاء وخارجه عند نقطة الاتزان .

د — كلما زاد تركيز أيون البروتين الغير قابل للانتشار داخل الغشاء بالنسبة إلى تركيز الأيونات القابلة للانتشار خارج الغشاء كلما قل دخولها حتى يصبح الغشاء وكأنه غير منفذ لدقائق كلورور الصوديوم كما هو ظاهر من المثل الثالث.

ولعل هذه النتائج تفسر لنا لماذا تمتنع بعض النباتات عن امتصاص بعض العناصر الموجودة فى محلول ماء التربة متى كانت أملاحها تحتوى على كانيونات مماثلة للسكاينون المتحد بالبروتين داخل الخلية .

أما إذا استبدل محلول كلورور الصوديوم فى المثل السابق بمحلول كلورور البوتاسيوم أى أن السكاينونات الموجودة خارج الغشاء تخالف فى نوعها السكاينونات المرتبطة بالبروتين داخل الغشاء فإنه عند بلوغ حالة الاتزان لا يختلف الوضع عن

حالة استعمال كلورور الصوديوم إلا فيما يختص بكمية كلورور البوتاسيوم التي دخلت الغشاء .

والجدول الآتي يبين تركيزات الأيونات المنتشرة على جانبي الغشاء عند استعمال كلورور البوتاسيوم بدلا من كلورور الصوديوم .

تركيز الأيونات بعد الانتشار								تركيز الأيونات قبل الانتشار			
خارج الكيس				داخل الكيس				خارج الكيس		داخل الكيس	
كل -	ص +	بو +		كل -	بر -	بو +	ص +	كل -	بو +	بر -	ص +
٥٢٤	٤٨	٤٧٦		٤٧٦	١٠٠	٥٢٤	٥٢	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠	١٠٠
٦٦٦	٣٣٣	٣٣٣		٣٣٣	١٠٠٠	٦٦٦	٦٦٦	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
٩١,٧	٨٣,٤	٨,٣		٨,٣	١٠٠٠	٩١,٧	٩١٦,٧	١٠٠	١٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠

ويتضح من هذا الجدول الحقائق الآتية :

١ — أن ما دخل الغشاء من كاتيونات البوتاسيوم أكثر مما دخل من كاتيونات الصوديوم في المثل السابق .

ب — أنه كلما زاد تركيز أيون البروتين داخل الغشاء كلما زادت الكمية الداخلة من كاتيونات البوتاسيوم ففصل إلى ٩٢٪ من كميته الأصلية قبل الانتشار بينما تحتجز أنيونات الكلور خارج الغشاء بدرجة كبيرة . وهذا يفسر لنا مقدرة النباتات على أن تمتص الكاتيونات من التربة بكمية كبيرة متى كانت مغايرة لنوع الكاتيون المرتبط بأيون البروتين داخل الخلية دون التعرض للانيونات المرتبطة للكاتيونات المنتشرة

غير أنه من المشاهد أن النباتات تمتص الانيونات والكاتيونات . ذلك أن البروتينات لها من طبيعة تركيبها ما يجعلها تسلك مسلك الأحماض إذا وجدت في بيئة قلوية وتسلك مسلك القلويات إذا وجدت في بيئة حامضية . وعلى ذلك فإن جزيء

البروتين عندما يتأين في بيئته حامضية فإن أيونه يشحن بالكهرباء الموجبة . وإذا تأين في وسط قاعدي فإن أيونه يشحن بالكهرباء السالبة . فإذا كان أيون البروتين في المثل الثاني موجب التكهرب بدلا من أن يكون سالبا فإن أيون الكلور السالب التكهرب هو الذى يدخل بدلا من أيون البوتاسيوم لانهجذابه كهربائيا إلى أيون البروتين الموجب التكهرب .

وظاهر من نظرية دونان أنها تفسر لنا بعض الحقائق المألوفة والتي بنيت عليها عملية التسميد وامتداد التربة بالعناصر اللازمة للنباتات المزرعة . فالحاصلات المختلفة لا تمتص العناصر الغذائية بمعدل واحد . فنبات الفول مثلا يحتاج من العناصر غير ما يحتاجه نبات كالةمح أو الشعير . ويدخل في تركيب الجدار البروتوبلازمى للخلية مواد بروتينية ، وقد سبق أن رأينا كيف تغير الشحنة الكهربائية لأيون البروتين تبعاً لمحوضة أو قلوية وسط التأين . والجدار البروتوبلازمى يغلف الفجوة العصارية التي غالباً ما تكون حامضية نتيجة لتراكم نواتج عمليات التحول الغذائى ومنها حامض الكربوليك كما أن الجدار البروتوبلازمى يتصل من سطحه الخارجى بالبيئة الخارجية التي تكون قلوية أو متعادلة بالنسبة إليه . وحيث أن البروتوبلازم فى حركة دائرية فى الخلية النباتية فإن سطحه يتعرض على التعاقب للفجوة الحامضية والوسط الخارجى القلوى . فعندما يلامس الوسط الخارجى فإنه يكون سالب التكهرب فيتحد بالكاتيونات الموجبة ثم يطلق هذه الكاتيونات فى الوسط الحامضى فى الفجوة عندما يلامسها ويصبح موجب التكهرب ويتحد بالانيونات السالبة وهكذا . ولعل ذلك يفسر لنا تراكم الكاتيونات فى الفجوات الخلوية لكثير من النباتات .

ويجب ألا يغيب عن البال ما للبروتوبلازم من مقدرة اختيارية فى انفاذ المواد تعرف بالانفاذ الاختيارى للبروتوبلازم Selective permeability فهو ينفذ خلاله العنصر أو الملح الذى يحتاجه النبات فى زمن معين بغض النظر عن وجود هذا الملح أو العنصر بنسبة مرتفعة أو منخفضة فى الوسط الخارجى طالما كان النبات فى احتياج إليه .

نفاذية المواد غير الالكتروليتيّة:

نظراً لأن المواد غير الالكتروليتيّة لا تتأين في محاليلها فإن نفاذيتها تبدو أقلّ تعقيداً من نفاذية المواد الالكتروليتيّة . وقد أجريت معظم التجارب في هذا الموضوع على خلايا الفطر والطحالب والخزازيات . وقد كان يظن فيما مضى أن المواد غير المتأينة تدخل الخلية بحالتها وبدون حدوث أى تغيير في تركيبها وطبقاً لنظريات الانتشار البسيطة أى أنها تنتشر من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً حتى يتساوى تركيزها في داخل الخلية وخارجها .

إلا أن الأبحاث الحديثة التي أجراها « الجوادى » (١٩٣٥) و « سعيد » (١٩٣٧ — ١٩٥٣) والخاصة بامتصاص أقراص البنجر للسكريات أظهرت أن امتصاص هذه الأنسجة للسكريات حدث بطريقة مشابهة لامتصاصها للمواد الالكتروليتيّة ، وأنه في المحاليل السكرية المخففة امتصت أقراص البنجر السكريات واستمر الامتصاص حتى زاد تركيزها في الداخل عنه في الخارج . وأنه عند خلط هذه المحاليل السكرية بمركبات كيميائية فإن ذلك يؤثر في امتصاص السكريات .

ويميل « سعيد » إلى الأخذ بالرأى القائل بأن السكريات تحدث لها فسفرة على السطح الخارجى للخلية ، وأن هذا السكر المفسفر يمر في الغشاء البلازى إلى السيتوبلازم حيث تزول عنه ظاهرة الفسفرة . وهذه المناسبة تذكر أن كثيراً من الباحثين قد أثبت وجود أنزيمات الفسفرة على أسطح خلايا الحيوان والخميرة .

طرق تقدير درجة النفاذية:

استعملت طرق كثيرة لقياس درجة النفاذية منها :

١ — طريقة مشاهدة التغير الذى يطرأ على الخلية وعلى الوسط الخارجى :

تحدث بعض المواد تغيراً ملحوظاً عند دخولها الخلية ويؤخذ هذا التغير دليلاً على إنفاد الجدار البروتوبلازى لهذه المادة . ففي عام ١٨٨٦ اخترع Pfeffer درجة

إنفاذ خلايا بعض النباتات لبعض الأصباغ ووجد أن بعضها مثل أزرق الميثيلين والسفرانين وبرتقال الميثيل يمتصه النبات من محاليلها المخففة جداً وأن هذه الأصباغ تراكم داخل الخلية إما على حالتها الذائبة أو على حالة راسب وعلى ذلك يزداد تركيزها داخل الخلية عنه في خارجها بينما لم تحدث بعض الأصباغ الأخرى أى تأثير في الخلية مثل الأيوسين وأحمر الكونفو فاستدل على أن الغشاء البروتوبلازمى ينفذ النوع الأول من الأصباغ وأنها بعد نفاذها تتحد مع بعض محتويات الخلية لتكوين مركبات أخرى لا ينفذها الغشاء ، أما الرواسب المتكونة داخل الخلية فتنتج من اتحادها مع مركبات التين .

وإذا احتوى العصير الخلوى على مادة يتغير لونها بتغير المحوضة أو القلوية فإن هذه المادة تعتبر دليلاً على قابلية انفاذ الغشاء البروتوبلازمى للأحماض والقلويات وقد استدل De Vries (١٨٧١) على دخول الأمونيا في خلايا جذور البنجر من تحول لون الاتوسيانين (وهى المادة الملونة للعصير الخلوى لخلايا البنجر) من اللون الأحمر إلى اللون الأزرق .

وإذا احتوت الخلية على مادة من شأنها أن تحدث تفاعلاً تكون نتيجة تكوين راسب داخل الخلية مع ملح معين دل ذلك على قابلية نفاذية هذا الملح إلى الداخل خلال الغشاء فمثلاً إذا احتوت الخلية على ملح من أملاح الكالسيوم الذائبة فإن نفاذ أملاح الكربونات أو الأكسالات الذائبة إلى داخل الخلية تكون مع ملح الكالسيوم الراسب المناظر .

وبالمثل يمكن مشاهدة تفاعل بعض الأملاح الخارجة من الخلية مع الوسط الخارجى وبنفس الطريقة سواء بتغير اللون أو باحداث الراسب .

٣ — طريقة احداث البلمرة :

هذه الطريقة مبنية على حدوث البلمرة بسبب عدم تساوى معدل نفاذية كل من المادة الذائبة والمذيب خلال الغشاء ، وأن درجة نفاذية الماء أكبر من درجة نفاذية

المادة الذائبة فتحدث البلزمة . ويجب لنجاح هذه الطريقة أن يراعى أن يكون المحلول المستعمل لإحداث البلزمة زائد التركيز Hypertonic وأن يكون الملح أو المادة المذابة في هذا المحلول من النوع القابل للتفاد خلال الغشاء بمعدل أقل من قابلية تفاد الماء حتى يمكن أن يحدث شفاء للبلزمة Recovery إذا تركت الخلية في نفس المحلول مدة كافية .

فإذا فرضنا أنه لكي تحدث البلزمة في خلايا طحلب الاسبيروجيرا *Spirogyra* فإنه يجب أن يكون تركيز محلول أزوتات البوتاسيوم ٤ . أساسى . وأن تركيز ٠.٣ أساسى من محلول كلورور الصوديوم كاف أيضاً لإحداث البلزمة ، فإن ذلك يعنى أن الخلية كانت أكثر نفاذية بالنسبة لأزوتات البوتاسيوم عنها في حالة كلورور الصوديوم لأنها احتاجت من الأول محلولاً أكثر تركيزاً لكي تحدث البلزمة ، وإذا فرضنا أنه يلزم لشفاء البلزمة أن تبقى الخلية في محلول كلورور الصوديوم مدة ثلاثين دقيقة وفي محلول أزوتات البوتاسيوم عشرين دقيقة فإن ذلك يعنى أيضاً أن الخلية تنفذ أزوتات البوتاسيوم بدرجة أكبر .

٣ — طريقة قياس درجة التوصيل الكهربائى للأنسجة أو للوسط الخارجى :

تزداد قدرة البروتوبلازم على التوصيل الكهربائى كلما زادت قدرته على النفاذية ذلك لأن الأيونات كلما زاد تركيزها في المحلول كلما زادت درجة التوصيل الكهربائى لهذا المحلول . وتجربى هذه الطريقة بأن يوضع النسيج النباتى في دائرة كهربائية متصل بها جلفانومتر ثم تقفل الدائرة الكهربائية ويقرأ الجلفانومتر وتسجل قراءته ثم يوضع النسيج في محلول العنصر المراد اختبار درجة نفاذه في الغشاء البروتوبلازمى ويترك بعض الوقت ثم تقاد قراءة الجلفانومتر . فإذا زادت قراءة الجلفانومتر دل ذلك على قدرة البروتوبلازم على إنفاذ هذا العنصر وبذلك يمكن قياس كمية ما نفذ من هذا العنصر خلال الغشاء . ويمكن قياس درجة توصيل المحلول الذى يحتوى على العنصر بدلاً من قياس درجة التوصيل الكهربائى للنسيج قبل وضع النسيج وبعده . فإذا

كان العنصر قابلاً للنفوذ خلال الغشاء البروتوبلازمي فإن الجلفانومتر يقرأ قراءة أقل من القراءة الأولى وهذه القلة تتناسب طردياً مع سرعة اختفاء العنصر من المحلول الخارجى أى مع معدل نفاذيته إلى الخلية خلال الغشاء البروتوبلازمي .

كذلك وبنفس الطريقة يمكن قياس نفاذية الغشاء البروتوبلازمي للعناصر إلى الخارج أى إلى المحلول الخارجى الذى قد يكون ماءً مقطراً فتقاس درجة التوصيل الكهربائية للنسيج بعد وضع النسيج مدة كافية فى الماء أو تقاس درجة التوصيل الكهربائى للماء بعد وضع النسيج فيه مدة كافية .

٤ — طريقة التحليل الكيماوى للأنسجة والوسط الخارجى :

استخدمت طريقة تحليل العصير الخلوى للخلية تحليلاً كيماوياً وكذلك التحليل الكيماوى للوسط الخارجى كطريقة لتقدير درجة نفاذية الغشاء البروتوبلازمي للعناصر المختلفة .

ولهذه الطريقة عيوب خصوصاً إذا اعتمد على تحليل النبات فقط ، أولها أنه لا يمكن الحصول على عينة تمثل العصير الخلوى تمثيلاً صحيحاً بأحدى الطرق المعروفة لاستخلاص العصير الخلوى . وثانيها أنه عند تحليل هذه الأنسجة أو مستخلصاتها فإنه يدخل فى التحليل - زيادة على محتويات الفجوة - ما تحتوى المسافات البينية من محاليل وأملاح تكون قد تراكمت فيها بطريق التجمع السطحى وبذا تزداد القيمة الحقيقية لدرجة النفاذية . كما أن بعض العناصر قد تحول بمجرد دخولها إلى الخلية إلى مركبات أخرى يصعب تقديرها وبذلك تكون نتائج التحليل غير حقيقية .

العوامل التى تؤثر على النفاذية :

١ — درجة الحرارة :

تدل جميع التجارب على أن رفع درجة الحرارة يزيد من قابلية إنفاذ الجدار البروتوبلازمي للماء وأن خفضها يسبب العكس . أما بالنسبة إلى تأثير رفع درجة

الحرارة على درجة نفاذ الذائبات فقد درس Eckerson (١٩١٤) تأثير درجت الحرارة المختلفة على معدل نفاذية الجدار البروتوبلازمى لأزونات البوتاسيوم والجدول الآتى يبين بعض هذه النتائج :

درجات الحرارة المثوية			استعملت خلايا
النفاذية قلب	النفاذية لم تتغير	النفاذية زادت	جذور النباتات الآتية
من $^{\circ}40$ إلى $^{\circ}50$ م	من $^{\circ}18$ إلى $^{\circ}24$ م	من $^{\circ}10$ إلى $^{\circ}14$ م	١ - الفجل
	من $^{\circ}30$ إلى $^{\circ}45$ م	من $^{\circ}24$ إلى $^{\circ}40$ م	٢ - الخردل الأبيض
من $^{\circ}20$ إلى $^{\circ}40$ م	من $^{\circ}12$ إلى $^{\circ}20$ م	من $^{\circ}10$ إلى $^{\circ}30$ م	٣ - عباد الشمس
من $^{\circ}35$ إلى $^{\circ}45$ م	من $^{\circ}15$ إلى $^{\circ}35$ م	من $^{\circ}6$ إلى $^{\circ}15$ م	٤ - البسلة

من هذا الجدول يتضح أن رفع درجة الحرارة يزيد من معدل نفاذ المواد الذائبة خلال الغشاء البلازمى حتى درجة معينة (تختلف باختلاف النباتات) . فإذا زادت درجة الحرارة بعد ذلك عن $^{\circ}40$ م فإن قدرة تحكم الغشاء البلازمى فى النفاذية تضعف حتى تنعدم تماماً حوالى درجة $^{\circ}50$ م ويطلق على درجة الحرارة التى يهلك عندها البروتوبلازم بالدرجة المميتة .

ويرجع هلاك البروتوبلازم وإطلاق النفاذية الى تأثير درجة الحرارة على البروتوبلازم فتسبب تجمعه تجمعا غير عكسى كما يحدث عند تسخين زلال البيض . ويمكن ملاحظة التطور فى النفاذية إذا وضعت بضع أقراص من جذور البنجر المفسولة غسلا جيدا بالماء فى ماء مقطر ورفعت درجة حرارتها تدريجياً فنلاحظ أن الماء يأخذ فى التلون تدريجياً باللون الأحمر والسبب فى ذلك أن العصير الخلوى لجذور البنجر يحتوى على مادة ملونة تعرف بالانثوسيانين Anthocyanin وهذه فى الأحوال الطبيعية لا تنفذ من الغشاء البلازمى للخلية . أما إذا رفعت درجة الحرارة إلى الدرجة المميتة (وتقع بين $^{\circ}40$ و $^{\circ}60$) وتختلف باختلاف النباتات) فإن الصبغة الحمراء تخرج دفعة واحدة وتلون الماء ويستمر خروج الصبغة حتى بعد إعادة الأقراص إلى الماء البارد .

أما إذا بردت أقراص البنجر إلى تحت درجة الصفر فإن النفاذية تتأثر كما لو رفعت درجة حرارة الأقراص إلى الدرجة المميتة فتقل قدرة تحمك الغشاء البلازى في الخلية. ومرجع ذلك إلى تغير طبيعة الغشاء البروتوبلازى وتكوين الثلج في سيتوبلازم الخلايا فيتمزق السيتوبلازم والغشاء البلازى ولذلك تنساب المادة الملوثة ولا تعود إلى حالتها الطبيعية بعد إعادة درجة حرارة الأقراص إلى الدرجة العادية.

٢ - الضوء :

تدل جميع الأبحاث على أن النفاذية تزداد في الضوء وتقل في الظلام فقد أبان Lepeschkin (١٩٠٩) أن النفاذية تزداد عند تعريض الوسادة الورقية لأوراق البقوليات للضوء وتقل عند نقلها إلى الظلام وقد تأيدت هذه النتائج بالأبحاث التي قام بها Blackman & Paine (١٩١٨) فتد لاحظا زيادة نفاذية خلايا بعض النباتات كالصنصاف *Selx babylonica* زيادة كبيرة عندما عرضت للضوء وأن النفاذية زادت بزيادة شدة الضوء. وأوضح Hoagland & Davis (١٩٢٣) أن خلايا طحلب *Nitella* امتصت الأملاح الذائبة بدرجة أكبر في الضوء عنها في الظلام وعزيت الزيادة في النفاذية إلى أن الضوء كان مصدراً للطاقة في عملية الامتصاص. وتختلف تأثيرات أشعة الطيف المختلفة في تأثيرها على النفاذية فالضوء الأحمر وهو أطول أمواج الطيف أقلها تأثيراً على النفاذية بينما نلاحظ أن الطيف البنفسجى وهو أقصر أمواج الطيف أكثرها تأثيراً على النفاذية فيزيدها.

٣ - المواد السامة والمخدرة :

للمواد المخدرة كالآثير والكحول وفورم تأثير كبير على النفاذية. ولدرجة تركيز هذه المواد في بيئة النبات تأثير على معدلها فإذا وجدت بتركيزات قليلة فإن نفاذية الغشاء البروتوبلازى تقل بدرجة ملحوظة ولكن هذا التأثير يكون عكسياً لأنه عند ابعاد تأثير هذه المواد فإن النفاذية تعود إلى حالتها الطبيعية. فتد وجد أوسترهاوت Osterhout (١٩١٣) أن نفاذية طحلب *Laminaria* قد انخفضت عندما وضعت في محلول ١ ٪ من الآثير.

أما إذا وجدت هذه المواد بتركيزات عالية في بيئة النبات فإن النفاذية تنخفض انخفاضاً مبدئياً في أول الأمر ثم تعقبها زيادة كبيرة غير عكسية تؤدي إلى موت الخلايا كما أوضح ذلك تجارب أوسترهاوت (١٩١٣) حينما وضع خلايا طحلب اللاميناريا في محلول أثري تركيزه ٣ ٪ فلاحظ انخفاض النفاذية فيها انخفاضاً مبدئياً أعقبته زيادة كبيرة غير عكسية أدت إلى موت خلايا الطحلب .

ويعزى فساد أنسجة بعض الفواكه أثناء تخزينها كالتفاح والكمثرى إلى تراكم بعض منتجات التحول الغذائي كالاستيالددهيد داخل خلاياها الأمر الذي يسبب زيادة نفاذيتها زيادة غير عكسية فتعوت الخلايا وتفسد الثمار . ويؤثر الاستيالددهيد وغيره من المواد السامة والمخدرة في بعض أطوار السيتوبلازم فيسبب اذابته أو سيولته مما يؤدي إلى اتلاف خواص الغشاء البروتوبلازمي .

٤ — المواد الذائبة في بيئة النبات :

من المعروف أن محلول الملح الواحد له تأثير سام على النبات . غير أن هذا التأثير قد يخف أثره أو يتلاشى إذا ما خلط هذا المحلول بملح آخر مختلف التكافؤ . وتعرف ظاهرة ابطال أحد الأملاح التأثير السام لملح آخر بظاهرة التضاد Antagonism فقد لاحظ Osterhout عندما أجرى تجاربه على طحلب اللاميناريا أنه عند غمس خلايا الطحلب في محلول ملحي يحتوي كاتيونات أحد العناصر أحادية التكافؤ مثل الصوديوم أو البوتاسيوم أو الأمونيوم ازدادت نفاذية الغشاء البروتوبلازمي زيادة واضحة مستمرة أدت إلى موت خلايا الطحلب في آخر الأمر . هذا مع ملاحظة تساوى تركيز الملح المستعمل مع تركيز أملاح ماء البحر الذي يعيش فيه الطحلب معيشة طبيعية .

وعندما غمس خلايا الطحلب في محلول يحتوي على أحد العناصر ثنائية أو ثلاثية التكافؤ كالسيوم والباريوم والمغنسيوم والحديد والالومنيوم فإن النفاذية تتأثر أيضاً بالزيادة .

أما إذا غمس الطحلب في محلول يحتوى على خليط من ملحين أحدهما يحتوى على كاتيون أحادي التكافؤ (كالصوديوم) ويحتوى الثانى على كاتيون ثنائى التكافؤ (كالسيوم) فإن النفاذية لا تكاد تتأثر، ويظهر أن كاتيونات الكالسيوم قد أبطلت بطريقة ما تأثير كاتيونات الصوديوم على النفاذية وبذلك لم تتأثر النفاذية بأحدهما وهذا ما يعرف بالتضاد.

أما إذا استعمل ملحان: كاتيونات أحدهما أحادية التكافؤ وكاتيونات الآخر ثلاثية التكافؤ، كانت ظاهرة التضاد أكثر وضوحاً أى أنه كلما بعدت الكاتيونات عن بعضها فى التكافؤ كلما ظهر التضاد بدرجة أوضح.

وقد استخدم أوسترهاوت فى تجاربه على التضاد طريقة التوصيل الكهربائى للأنسجة النباتية المختبرة. فقد لاحظ أن الأنسجة الحية السليمة تقاوم مرور التيار الكهربائى فى خلاياها مقاومة كبيرة أما الخلايا الميتة فإن التيار الكهربائى يمر فيها بمقاومة قليلة جداً فاستخدم هذه الطريقة لى يظهر مدى تأثر الخلايا وحيويتها بمحاليل الأملاح المختلفة، فإذا تأثرت الخلايا وأصابها الضرر فإن مقاومتها لمرور التيار الكهربائى تقل وهذه القلة تتناسب مع مبلغ الضرر الذى لحق بالخلايا. فعندما قيست درجة مقاومة أقراص الطحلب للتيار الكهربائى وهو مغمر فى ماء البحر (وهى ينشأ الطبيعية المحتوية على كثير من الأملاح الذائبة التى يضاد بعضها البعض) كانت درجة المقاومة كبيرة ودل ذلك على حيوية الخلايا. أما عند نقلها إلى محلول ملحي سوى الأزموذية مع ماء البحر من كلوزنور الصوديوم فإن مقاومة الأقراص لمرور التيار الكهربائى قلت. أى أن درجة توصيلها للتيار الكهربائى زادت ودل ذلك على أن درجة النفاذية قد زادت وأن الأنسجة قد لحقها الضرر. وحدث نفس الشئ عندما أجريت التجربة على محلول ملحي سوى الأزموذية من كلورور الكالسيوم. أما عندما وضعت الأقراص فى محلول ملحي مكون من خليط من كلورور الصوديوم وكلورور الكالسيوم فإن درجة التوصيل الكهربائى لم تتغير كثيراً عنها فى حالة استعمال ماء البحر.

ويطلق على محلول ماء البحر والمحاليل المشابهة التي تحتوى على أملاح عديدة مختلفة التكافؤ بالمحاليل المتزنة *Balanced solutions* ومن أمثلتها محاليل المزارع المائية كمزرعة نوب Knop وغيرها وكذلك ماء التربة . وفي هذه المحاليل توجد الأيونات المختلفة في حالة اتزان فسيولوجى ويكون نتيجة هذا الاتزان أن تحتفظ خلايا الجنور بنفاذيتها الطبيعية .

٥ — الأس الأيدروجينى :

قدما أن الغشاء البروتوبلازمى ذو طبيعة غروية وأن دقائقه المنتشرة تحمل شحنات كهربائية كلها من نوع واحد فتجعلها متنافرة وتظل منتشرة في وسط الإبتثار . فإذا تغير الأس الأيدروجينى في الأطوار المجاورة للغشاء البروتوبلازمى كالماء المبلل لجدر الخلايا أو الفجوة العصارية نتيجة لما يحدث داخل الخلية من عمليات التحول الضايق ، فإن ذلك يؤثر على درجة نفاذية الغشاء تأثيراً واضحاً ..



الباب السابع

تغذية النبات Plant Nutrition



إذا أحرقت عضو نباتي فإن جميع مركباته الكربونية والأزوتية تتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون وأكسيد الأزوت والماء. ويتبقى دائماً الرماء الذي يتكون من العناصر المعدنية . وتتغير كمية الرماء الناتجة من الاحتراق في أعضاء النبات المختلفة فتحتوي البنور مثلاً حوالي ٣ ٪ من الرماء أما الجذور والسيقان فتراوح نسبة الرماء فيهما بين ٤ - ٥ ٪ بينما تحتوي الأوراق من ١٠ - ١٥ ٪ . كما تختلف نسبة الرماء في الأعضاء المختلفة على درجة خصوبة التربة والعوامل الجوية فترداد في التربة الغنية بالعناصر الغذائية كما يساعد الهواء الجاف على زيادة محتوى أعضاء النبات من الرماء .

وتحصل النباتات الخضراء على ما يلزمها من عنصر الكربون وبعض الأكسجين من الهواء الجوي بينما تمتص العناصر الأخرى مذابة في ماء التربة .

وقد عني الباحثون القدماء بدراسة العناصر التي يتطلبها النبات بكميات كبيرة خصوصاً الأزوت والبوتاسيوم والفوسفور والكالسيوم والكبريت والمغنسيوم والحديد . وقد اعتبرت هذه العناصر أساسية في نمو النبات . أما العناصر الأخرى التي وجدت في أعضاء النبات المختلفة فقد اعتبرت حينئذ أنها غير ضرورية للنمو وأنها توجد بطريق الصدفة . وقد دلت الأبحاث الحديثة على أهمية بعضها ولو أن النبات لا يستنفذ منها إلا كميات ضئيلة جداً .

ومنذ عام ١٨٦٥ استعمل نوب Knop وغيره المزرعة المائية لإختبار أهمية العناصر المختلفة في تغذية النبات ووجد أن هناك عشرة عناصر أساسية لنمو النبات هي:

الكربون والإيدروجين والأكسجين والأزوت والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والكبريت والحديد .

والآتي تركيب محلول نوب الذي لا يزال يستعمل في المزارع المائية حتى الآن :

أزوتات كالسيوم	٠,٨ جرام
أزوتات بوتاسيوم	٠,٢ د
فوسفات بوتاسيوم	٠,٢ د
كبريتات مغنسيوم	٠,٢ د
فوسفات حديد	آثار
تذاب هذه الكمية في لتر ماء مقطر .	

ويلاحظ أن هذا المحلول يحتوى على سبعة عناصر فقط من السابق ذكرها أما الكربون فيمتصه النبات وبعض الأكسجين من الهواء الجوى كما أوضحنا ، ويحصل على الإيدروجين والجزء الأكبر من الأكسجين من جزئ الماء الممتص من التربة .

وهذا تركيب أحد المحاليل الغذائية الحديثة التي استعملها

Gregory and Baptiste (١٩٣٦) .

فوسفات الصوديوم أحادية الإيدروجين	٠,٨٤ جم
أزوتات الصوديوم	٠,٣,٠٣ د
كبريتات البوتاسيوم	٠,٦٢ د
كلورور الكالسيوم	٠,٠٠,١٢ د
كبريتات المغنسيوم المائية	٠,٤٢ د

ويستعمل هذا التركيب في تغذية النباتات المزروعة في مزرعة رملية وتسكن في هذه الكمية لتغذية نباتات مزروعة في أصيص يحتوى على ١٠ أرطال (انجليزية) من الرمل بعد إذابتها في الماء وإضافة آثار من كلورور الحديديك وكبريتات المنجنيز .

ويلاحظ عدم إضافة كل هذه الكمية مرة واحدة وإلا سبب ذلك هلاك النباتات

المزروعة خصوصاً في طور الإنبات، بل يجب أن تقسم على دفتين أو ثلاثة حسب نوع النبات المزروع وخطة التجربة .

وتنقسم العناصر حسب أهميتها في حياة النبات إلى قسمين :

القسم الأول : العناصر الضرورية Essential elements

القسم الثاني : العناصر غير الضرورية Non-essential elements

العناصر الضرورية Essential elements

وقد سميت هذه العناصر بالعناصر الضرورية نظراً لأن غياب أحدها يسبب نقصاً في نمو النبات وقد تظهر على النبات أعراض نقصه وقد يؤدي هذا النقص إلى عدم استكمال النبات لدورة حياته . وكل عنصر من هذه العناصر يقوم بدور خاص في حياة النبات ولا يمكن أن يعوض فقده عنصر آخر .

وقد قسمت العناصر الضرورية إلى قسمين :

١ - عناصر يحتاجها النبات بكميات كبيرة وتسمى بالعناصر الكبرى Major elements وهي العناصر العشر التي سبق ذكرها .

٢ - عناصر يحتاجها النبات بكميات ضئيلة وتسمى بالعناصر الصغرى Trace elements . منها المنجنيز والبورون والنحاس والزنك والمولبدنيم .

ولقد تأخر الكشف عن أهمية هذه العناصر الصغرى لأن الأملاح التي كانت تستعمل في إمداد النباتات بالعناصر الكبرى لم تكن نقية تماماً ومن المحتمل أنها كانت تحتوي على شوائب من العناصر الصغرى مما لم يلفت النظر إلى أهميتها . كما أن الماء الذي استعمل في هذه التجارب لم يكن نقياً وربما احتوى على آثار من هذه العناصر . كذلك الأوعية التي استخدمت لم يراع في اختيارها أن تكون ملساء السطح وغير منفذة مما دعا إلى تسرب بعض العناصر الداخلة في تركيبها إلى محلول المزروعة . وقد أمكن تلافى هذا النقص في التجارب الحديثة ولذلك ظهرت أهمية هذه العناصر الصغرى .

العناصر غير الضرورية Non-essential elements

ومن أمثلتها الكلور والصوديوم والسليكون والألومنيوم واليود. وقد اعتبرت أنها غير ضرورية لأنه لم يثبت حتى الآن على الأقل أهميتها للنبات ولو أنها توجد في رماده .

المزارع الصناعية Artificial cultures

تستعمل المزارع الصناعية لإختبار أهمية عنصر معين في نمو النبات . والمزارع الصناعية التي تستعمل هي المزرعة المائية ، والمزرعة الرملية .

المزرعة المائية Water culture

وتمتاز هذه المزارع بأن الجذور لا تحيطها أجزاء صلبة بل تنمو في وسط مائي تتوفر فيه جميع الأملاح المعدنية اللازمة كما تمتاز أيضاً بسهولة إجرائها وإمكان التحكم في كمية ونوع العنصر المضاف . ومن مزاياها أنه يمكن الحصول على المجموع الجذري سليماً كما يمكن مراقبة نموه .

ويلزم لنجاح تجارب المزرعة المائية أن يكون الماء المستعمل نقياً تماماً وأن تكون الأملاح على درجة عالية من النقاء وأن تكون الأوعية المستعملة نظيفة وغير مسامية والأفضل أن تكون من الزجاج الجيد حتى لا تتداخل هذه العوامل في نتيجة التجارب .

ولإجراء التجربة يحضر محلولان أحدهما كامل العناصر الضرورية والآخر ينفصه العنصر المراد اختبارده . ويوضع كل نوع من هذه المحاليل في أوعية خاصة عليها علامات مميزة ثم تنبت البذور في الزمل النقي أو نشارة الخشب أو ورق الترشيح . وعند تمام إنباتها تنقل باحتراس وتثبت في أغطية هذه الأوعية بحيث يتدل الجذير في المحلول . وقد تصنع هذه الأغطية من الخشب المثقّب أو الفلين المغطى بالشمع . وعند بلوغ المجموع الخضري درجة معينة من النمو فإنه يستحسن أن توضع له دعامه ليبقى النبات في وضعه الأصلي .

هذا ويجب ملاحظة تمرير تيار هوائى فى ماء المزرعة على شكل فقاعات صغيرة هادئة كما يجب تغيير محلول المزرعة من حين لآخر كلها اقضى الأمر للحفاظ على اتزان المحلول .

المزرعة الرملية Sand culture

يستعمل الرمل فى هذه المزرعة بدلا من الماء . ولا بد أن يكون الرمل نظيفاً خالياً من العناصر الغذائية وأن يكون ذا درجة من النعومة المناسبة تسمح بالتهوية الجيدة والاحتفاظ بالماء .

وفى هذه المزارع لا تنبت البنود فى الخارج بل توضع فى المزرعة الرملية مباشرة وتزود المزرعة بالمحاليل الغذائية المناسبة بين حين وآخر ويضاف الماء كلها اقضى الأمر ، ويراعى فى تحضير المحاليل الغذائية ما روعى فى المزرعة المائية .

ومن ميزات هذه المزرعة أن الجذور تنمو فى وسط مشابه إلى حد كبير للوسط الطبيعى للنبات . أما عيوب هذه المزرعة فهو عدم إمكان الحصول على المجموع الجذرى سليماً تماماً كما لا يمكن مراقبة نمو الجذور بخلاف الأمر فى المزرعة المائية . ولتحضير المحاليل الغذائية فى المزرعتين السابقتين يجب أن يراعى أن تحتوى المزرعة على جميع العناصر الكبرى والصغرى التى سبق ذكرها .

ويراعى عند إضافة العناصر الصغرى ألا يتعدى تركيز العنصر من ٠,١ — ٠,٥ جزء من المليون بينما تضاف العناصر الكبرى بنسبة تتراوح بين ٥٠ — ١٠٠٠ جزء من المليون .

ويتراوح الضغط الأزموزى للمحاليل الغذائية المناسبة بين ٠,٥ — ١ ضغط جوى

أهمية العناصر المختلفة فى تغذية النبات :

قد تدخل العناصر الممتصة مباشرة فى تكوين بروتوبلازم الخلية وجدارها وقد تتراكم بصورة أيونات حرة فى العصير الخلوى للخلية، ويؤدى تراكبها إلى رفع قيمة الضغط الأزموزى للخلية . وقد عنى الباحثون عناية خاصة بدراسة أهمية العناصر فى تغذية النبات والدور الذى تقوم به فى حياته .

العناصر الكبرى : Major elements

الكربون الأيدروجين والأكسجين :

تدخل هذه العناصر في تركيب أغلب المركبات العضوية في النبات كالبروتينات والكربوهيدرات والمواد الدهنية والمواد الشمعية والكحولات وغيرها . ويأخذ النبات ما يلزمه من الكربون على صورة ك^{١٢} من الهواء الجوى الذى يوجد فيه بتركيز ٠.٣ ٪ أما الأيدروجين والجزء الأكبر من الأكسجين اللازم له فيأخذه على صورة جزيء الماء المنصّب من التربة ويأخذ القليل من الأكسجين الجوى ويستهلكه في عملية التنفس .

الأزوت :

يدخل هذا العنصر في تكوين الأحماض الأمينية والأميدات والبروتينات وهي أهم مكونات البروتوبلازم وكذلك يدخل في تركيب جزيء الكلوروفيل . وقد يتحد مع النيتروجين ليدخل في تكوين البروتينات ومع الفسفور ليكون الحامض النووى والبروتينات النووية . ويكون الأزوت من ٦ — ١٠ ٪ من الوزن الجاف للنبات . ويأخذ النبات الأزوت اللازم له من التربة على صورة أزوتات أو نشادر نضاف إليها على صورة أسمدة . والنباتات البقولية القدرة على الاستفادة من الأزوتات الجوى عن طريق البكتريا العقدية التى تعيش على جذورها وتمتد النباتات بالأزوت اللازم لها . كما أن هناك أنواعاً من البكتريا التى تعيش في التربة يمكنها أن تثبت الأزوت الجوى في التربة مثل بكتريا الأزوتوباكتر .

ويؤدى نقص هذا العنصر في النبات إلى ظهور أعراض خاصة . فقد لاحظ Gregory and Richards (١٩٢٩) انخفاض معدل التفرع في نباتات الشعير التى ينقصها الأزوت كما يتأخر موعد ظهور الأوراق ويصغر حجمها ويصير لونها أخضر فاتحاً ويقل محتواها المائى عن أوراق النباتات المسمدة تسميداً كاملاً . وقد أوضح هذان الباحثان أن نقص هذا العنصر يؤدى إلى نقص معدل عمليتي التنفس والتمثيل

وتكوين البروتين ويقل نشاط المناطق المرستيمية مما يؤدي إلى زيادة المحتوى الكربوهيدراتي في النباتات . ويؤخذ من نتائج أبحاث Gregory & Baptiste (١٩٣٦) ٦. سعيد وندا (١٩٥٠) أن محتوى الأوراق للسكريز قد زاد زيادة واضحة بينما لم يتغير محتوى الأوراق للسكريات المختزلة في نباتات الشعير ناقصة الأزوت . وتأخذ أوراق النباتات التي تعاني نقصاً في الأزوت في الإصفرار من أسفل إلى أعلا ذلك لأن الأزوت ينقل إلى مناطق النشاط العليا في النبات فتحرم منها الأوراق السفلى التي تبدأ في الاصفرار .

البوتاسيوم :

لا يدخل هذا العنصر في تكوين المواد العضوية في النباتات ومع ذلك فإنه يلعب دوراً هاماً في عمليات البناء البروتيني ولذلك فإنه يكثر في مناطق النشاط المرستيمي ويوجد على حالة ذائبة في العصير الخلوي مما يؤدي إلى رفع قيمة الضغط الأزموزي للتخللایا فتزداد قوة امتصاصها للماء .

ويؤدي نقص هذا العنصر إلى تلون الأوراق بلون أصفر فاتح مع إزدیاد محتواها المائي وتموت الأوراق سريعاً وبمجرد تفتحها . وهذا يحدث عادة إذا كان المحلول الغذائي يحتوي على نسبة عالية من الصوديوم وعلى كمية من الكالسيوم تكاد تسد حاجة النبات . أما في المحاليل الغذائية التي يكون فيها الكالسيوم بكمية أكبر مما يحتاجه النبات وكمية ضئيلة نسبياً من الصوديوم فإن أعراض نقص البوتاسيوم الحقيقية لا تظهر على النبات لأن جذوره تحت هذه الظروف السابق ذكرها تعجز عن امتصاص حاجتها من الفسفور الموجود في التربة وينتج عن ذلك ظهور أعراض نقص الفسفور التي تخفي تحتها أعراض نقص البوتاسيوم الحقيقية .

وقد أوضح Gregory and Richards أن هذا العنصر عامل مهم في امتصاص (ك٢) من الجو وهذا هو السبب في انخفاض معدل عملية التمثيل الكربوني في النباتات ناقصة البوتاسيوم . ويظهر أن دوره في عملية التمثيل الكربوني هو دور

العامل المساعد . وقد أوضح White (١٩٣٦) أن النشاء يتراكم في النباتات ناقصة البوتاسيوم لأن نقصه يسبب تعطل أنزيم الأميلاز فلا يتحلل النشاء إلى سكريات .
وقد أجمعت البحوث الحديثة على أهمية البوتاسيوم في فسفرة السكر في خلايا النبات وهي الخطوة الأولى الأساسية في جميع عمليات التحولات الغذائية .
وتظهر أعراض نقصه في الأوراق السفلى أولاً وتنتشر تدريجياً إلى الأوراق العليا لأن أيون البوتاسيوم ينتقل دائماً إلى مناطق النشاط العليا في حالة نقصه .

الفوسفور :

يدخل هذا العنصر في تركيب كثير من المواد العضوية التي تدخل في تكوين البروتوبلازم كالبروتينات النووية والادنوسين ثلاثي الفوسفات والليبيدات .. الخ كما يوجد أيون الفوسفور بحالة حرة في الخلية .
وأعراض نقص هذا العنصر هو تلون الأوراق بلون أخضر داكن واحتوائها على كمية كبيرة من صبغة الأنتوسيانين وتموت الأوراق مبكراً وتعطل نمو الساق تعطلاً كبيراً . ويؤدي نقص الفوسفور إلى انخفاض معدل عمليتي التمثيل والتنفس كما يقل النشاط المرستيمى والبناء البروتيني ، ولا يتغير المحتوى السكري في النباتات ناقصة الفوسفور عنه في النباتات كاملة التسميد ولكن نسبة السكروز إلى السكريات المختزلة تقل عند نقص الفوسفور كما ظهر من تجارب Gregory & Baptiste (١٩٣٦) .
وسعيد ندا (١٩٥٠) وقد أوضح الأخيران (١٩٤٩) أهمية الفوسفور في نشاط أنزيم الأنفريتاز ف أظهرت نتائج أبحاثهما أنه عند تغذية أوراق نباتات الشعير ناقصة الفوسفور بمحلول السكروز لم يتمكن أنزيم الأنفريتاز من تحليل هذا السكر وامتصاص نواتج تحلله لضعف نشاط الأنزيم في غياب الفوسفور . أما عند إضافة الفوسفات إلى المحلول الغذائي السكري فإن الأنزيم استعاد قدرته التحليلية فقام بتحليل السكروز في المحلول الغذائي وامتصت الأوراق نواتج التحليل .

الكالسيوم :

لهذا العنصر أهمية خاصة في جميع النباتات الخضراء فهو علاوة على فائدته في إبطال

ضرر العناصر أحادية التكافؤ كالصوديوم والبوتاسيوم بعملية التضاد ، فإنه يقوم بمعادلة الأحماض العضوية الضارة بالنبات مثل حامض الأكساليك الذى ينتج من عمليات التحول الغذائى . ويتحد الكلسيوم مع مادة البكتين مكوناً بكتات الكلسيوم فى الصفيحة الوسطية بين الخلايا . وقد أشار كثير من الباحثين إلى دخوله فى تركيب بروتوبلازم الخلية . وتختلف حساسية النبات لهذا العنصر ، فالبقوليات والبنجر والكرنب تظهر عليها أعراض نقصه بسرعة نظراً لاحتياجاتها الكثيرة منه .

ونظراً لأن هذا العنصر قليل الحركة فى النبات ، فإن أعراض نقصه تبدأ فى الظهور على الأوراق الحديثة فى القمة النامية فتبدو حوافها غير منتظمة التكوين وتظهر عليها أشربة رفيعة صفراء وقد تتبقع ببقع بنية .

الكبريت :

تمتص النباتات هذا العنصر على صورة أيون الكبريتات ويبقى الكثير منه فى حالة أيونية فى الفجوة ، ويدخل الباقي منه فى تركيب البروتينات والمواد الطيارة . وتعتبر نباتات العائلة الصليبية كالفجل والكرنب والقرنبيط والخردل غنية بهذا العنصر . ويبدو أن هذا العنصر ضرورى لتكوين جزئ الكلوروفيل فى النبات ولو أنه لا يدخل فى تركيبه . كما أنه ضرورى لتكوين العقد البكتيرية .

ويسبب نقص هذا العنصر خفض المحتوى البروتينى للنبات لأنه يدخل فى تكوين الحامض الأمينى « سستين » Cystine ويضعف نمو المجموع الخضرى وتصفّر الأوراق وتتبقع ببقع حمراء .

ونظراً لأن هذا العنصر قابل للانتقال فإن أعراض نقصه فى النباتات تظهر فى الأوراق السفلى أولاً ثم تنتشر إلى أعلا .

المغنسيوم :

يدخل هذا العنصر فى تكوين جزئ الكلوروفيل ويحتاج النبات منه كميات قليلة . وتحتاج بعض الأنزيمات لعنصر المغنسيوم لتنشيطها كإنزيم الفوسفاتيز . ويبدو

أن لهذا العنصر أهمية خاصة في امتصاص الفسفور . فقد أظهرت التجارب أنه بزيادة عنصر المغنسيوم في التربة يزداد محتوى النبات من الفوسفور .

وأعراض نقص هذا العنصر هو اصفرار الأوراق لعجز النبات عن تكوين المادة الخضراء وتظهر هذه الأعراض مبتدئة بالأوراق السفلى ثم الأوراق التي تعلوها لأن هذا العنصر قابل للانتقال في النبات .

الحديد :

يحتاج النبات إلى كميات ضئيلة من هذا العنصر ومع ذلك فله أهمية كبيرة في تكوين مادة الكلوروفيل ولو أنه لا يدخل في تركيبها . وتظهر على النباتات الفقيرة في هذا العنصر أعراض الإصفرار Chlorosis . ويدخل الحديد في تركيب أنزيمات الأكسدة ومن هنا تتضح أهميته في عمليات الأكسدة التي تحدث في خلايا النبات .

ونظراً لأن هذا العنصر غير قابل للحرك في النبات ، فإن نقصه لا يؤدي إلى تحركه إلى مناطق النشاط الطرفية وعلى ذلك فإن القمم النامية وما تحمل من أوراق حديثة التكوين هي أول ما يظهر عليها أعراض نقصه فيصفر لونها وقد تبدو عاجية اللون ثم لا تلبث أن تتبقع ببقع بنية وتحترق في آخر الأمر بينما تظل الأوراق السفلى خضراء . وبما استرعى أنظار الباحثين اختواء الأوراق التي ظهرت عليها أعراض نقص الحديد ، على كمية منه تكاد تساوى كيته في الأوراق الخضراء . وقد فسرت هذه الظاهرة بأن الحديد يوجد في أوراق النباتات على صورتين :

(أ) الحديد النشط وهو الحديد الذي يوجد في الأوراق وله علاقة مباشرة بتكوين المادة الخضراء وتزداد كيته بزيادة المادة الخضراء .

(ب) الحديد غير النشط وهذا النوع ليس له علاقة بتكوين المادة الخضراء . وعلى ذلك فإن نسبة الحديد غير النشط إلى الحديد النشط تكون هي الغالبة في الأوراق المصابة بالاصفرار بينما ينعكس الوضع بالنسبة للأوراق الخضراء .

من ذلك نرى أن الحديد قد يكون متوفراً في الأوراق ومع ذلك تظهر عليها أمراض نقصه مع توفره في التربة .

ولعل السبب في وجود الحديد غير النشط في الأوراق هو احتوائها على تركيزات عالية من الزنك والرصاص والمنجنيز والكسيوم التي تعمل على تحويل الحديد النشط الممتص إلى حديد غير نشط فظهر أعراض نقصه على النبات .

العناصر الصغرى Trace elements

البورون :

تحتاج النباتات إلى كمية ضئيلة من هذا العنصر تضاف كأجزاء من المليون إلى مزارع التجارب . وقد وجد أن الكيلو جرام من حبوب الشعير الجافة تحتوى على ٢ ملليجرام منه ، بينما تحتوى الكيلوجرام من الطماطم على ١٩١ ملليجرام .

وأعراض نقص هذا العنصر هو تشوه الأطراف النامية واسمرارها كما يسبب نقصه تشقق السيقان وترتفع درجة حموضة الخلية فتشل عملية التحويل الغذائي ويحلل بروتوبلازم الخلية تدريجياً حتى يموت .

المنجنيز :

يوجد في جميع أجزاء النبات خصوصاً قصرات البذور . ويقوم بدور العامل المساعد في عمليات الأكسدة والاختزال التي تحدث داخل النبات . ويظهر أن هناك علاقة بين عنصرى الحديد والمنجنيز تظهر من تعطل إنتاج المادة الخضراء عند نقصه فتصفّر الأوراق ويهبط محتواها الكربوهيدراتى وتسود الأوراق حديثة التكوين ثم يموت النبات جميعه مبتدئاً بالقمة النامية .

النحاس :

لم يعرف على وجه التحديد الدور الذى يقوم به هذا العنصر في النبات . إلا أنه ثبت وجوده في المراكز الفعالة لبعض أنزيمات الأكسدة ويعمل على تنشيطها وهو يوجد في جميع أجزاء النبات وخاصة في البذور .

ومن أعراض نقصه في أشجار الموالح والكثيرى احتراق حواف الأوراق وموت القمم النامية .

الزنك والمولبدنيم :

ثبت بصفة قاطعة أهمية هذين العنصرين في تغذية النباتات ونموها نمواً طبيعياً .
إلا أن الدور الذي يقوم به هذين العنصرين في النبات لم يمكن تحديده على وجه الدقة .

ومن أعراض نقص الزنك تكون الأوراق الصغيرة في التفاح . وظهور قمم الأوراق البيضاء في نبات الدرة .

أما المولبدنيم فإن نقصه في القرنبيط يسبب وقف نمو فصل الأوراق ونمو العرق الوسطى فقط وسقوط الأزهار في الطماطم .

هجرة العناصر الغذائية

Migration of Nutrient Elements

يعتبر Deleano أول من درس موضوع هجرة العناصر وكان ذلك عام ١٩٠٧ .
ولكنه لم ينشر نتيجة أبحاثه إلا عام ١٩٣١ .

ويعتبر Deleano أن النبات أو العضو النباتي يمر أثناء حياته في مراحل ثلاث :

المرحلة الأولى : مرحلة البلوغ Adolescence stage

وتتماز هذه المرحلة بسرعة النمو وتراكم العناصر في جسم النبات أو العضو .

المرحلة الثانية : مرحلة النضج Maturity stage

ولا يتغير في هذه المرحلة المحتوى الرمادي للنبات أو العضو . وقد يزداد المحتوى السكري ويبدق والوزن الجاف .

المرحلة الثالثة : مرحلة الشيخوخة Senescence stage

وفيها تهجر العناصر الأوراق ومنها إلى الساق فالجذر ثم تعود إلى التربة ويسبق ذلك فقد النبات لجزء من مائه .

ويعزو هذا العالم وجود هذه المراحل الثلاث إلى التغير في نفاذية الغشاء البلازمي. ففي المرحلتين الأولى والثالثة تزداد نفاذية الغشاء للعناصر وتتعهد نفاذيته لها في المرحلة الثانية. وأثناء المرحلة الأولى يكون البروتوبلازم سريع النمو فيزداد امتصاص وتراكم العناصر في الخلية. أما في المرحلة الثالثة فيكون البروتوبلازم قد اكتمل نموه وفقد سيطرته على نفاذ العناصر فتنسب منه إلى التربة.

وقد وجد Bossie في أبحاثه على نبات القمح أن الأزوت والفوسفور يهاجران من الأوراق إلى الساق أثناء المرحلة الثانية ويبقيان في الساق إلى حين الحاجة إليهما في تكوين السنابل، بينما ينساب البوتاسيوم مباشرة إلى التربة نظراً إلى عدم الحاجة إليه في تكوين السنابل.

ويظهر أن هناك عمليتان متمميتان بجانب بعضهما أثناء حياة النبات: أحدهما دخول هذه العناصر من التربة والثانية خروجها إليها، ففي المرحلة الأولى يكون معدل دخولها أكبر من معدل خروجها فتتراكم في خلايا النبات، وفي المرحلة الثانية يتساوى مقدارهما ولهذا فإن المحتوى الرمادي لا يتغير فيها. أما في المرحلة الثالثة فإن معدل خروج العناصر يكون أكبر كثيراً من معدل دخولها فينسبب أكثرها إلى التربة.



الباب الثامن

الإنزيمات Enzymes

— — — — —

تنشط الإنزيمات معظم التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل الخلايا الحية — حيوانية كانت أو نباتية — فهي تؤثر تأثيراً مباشراً في سير التفاعل في اتجاه معين .

هناك رأى ينادى بأن التفاعل الكيميائي الذي ينشطه الإنزيم يسير ببطء شديد في غيابه ، وهناك رأى آخر يقول بأن الإنزيم هو الذي يساعد تفاعلاً كيميائياً لا يبدأ في غيابه .

والإنزيم أو الخيرة هي مادة عضوية ذات تركيب عضوي ، تتأثر بالحرارة ويفرزها بروتوبلازم الخلايا . وهي تساعد على سرعة التفاعلات دون أن تستهلك أو تدخل في نواتج التحليل . وبمعنى آخر فالإنزيم ما هو إلا عامل مساعد حيوي من نوع خاص Biological catalyst . وكل الإنزيمات التي أمكن تحضيرها حتى الآن ذات طبيعة بروتينية .

وعندما اكتشفت الإنزيمات لأول مرة أعطيت أسماء لا توضح طبيعة عملها كإنزيمات الببسين والتربسين والدياستيز . أما الطريقة المتبعة حديثاً في تسميتها فهي إضافة المقطع « يز » إلى المادة التي يؤثر عليها — مثل أنزيم اليورين الذي يحلل اليوريا إلى النشادر وثاني أكسيد الكربون . والبروتين الذي يحلل البروتين إلى الأحماض الأمينية ، والسكرين الذي يحلل السكر إلى الجلوكوز والفركتوز .

وجود الإنزيمات في الخلية وطرق استخراجها :

توجد بعض الإنزيمات في عصير الخلية بحالة طليقة ، ويمكن الحصول على هذا النوع من الإنزيمات من عصير الفواكه مثلاً ، وهناك نوع آخر من الإنزيمات مرتبط

طريقة ما يبروتوبلازم الخلية ولا يمكن استخلاصه بكمية وافرة إلا بعد معاملة الخلايا بمعاملة خاصة . فمثلا يستخرج أنزيم المولتين من مولت الشعير بمعاملة بمحلول ملحي . بينما تحضر أنزيمات البروتينين والمولتين والاميلين من كرات الدم المحرام باستعمال محلول مخفف من الجلسرين . وهناك من الأنزيمات ما هو مرتبط بالخلية ارتباطاً وثيقاً ولا يمكن استخلاصها إلا بعد معاملة الخلايا بمعاملة من شأنها أن تلتف الخلية دون أن تتأثر الأنزيمات ، فمثلا يستخلص أنزيم السكرين (الانفرتين) بعد معاملة الخلايا بالتوليدوين أو الكلوروفورم ، وأنزيم معقد الزيمين Zymase complex يطحن فطر الخبيرة مع الرمل ثم ترشيع المستخلص .

تنقية المستخلص الأنزيمي :

تعتبر عملية تنقية المستخلصات الأنزيمية من العمليات الصعبة نظراً لوجود الأنزيمات بتركيزات مخففة في مستخلصاتها وكذلك ادم ثباتها ولظبيعتها القروية . وأهم الطرق المستعملة في التنقية هي :

١ — الترسيب الجزئي Fractional precipitation

والطريقة أن يضاف الكحول أو الأسيتون إلى المستخلص الأنزيمي أو بإجراء عملية القليح Salting out بواسطة كبريتات الأمونيوم أو كبريتات المغنسيوم أو لملاح أخرى .

٢ — التجمع السطحي عند أس ايدروجيني مناسب

ويستخدم في هذه العملية فوسفات ثلاثية الكالسيوم أو كريم الألومنيوم (ايدروكسيد الألومنيوم) أو الكاؤولين . وتستخدم القوة المركزية الطاردة في فصل المادة المجمعة ومعها الأنزيم عن المحلول . أما المادة المترسبة فتعامل بمحلول منظم قلوي لطرد الأنزيم فينفرد الأنزيم في المحلول . وعند استعمال القوة المركزية الطاردة مرة أخرى تنخلص من المادة المجمعة ويبقى المحلول المنظم وبه الأنزيم الذي يمكن فصله عن المحلول باستعمال عملية الفصل الغشائي Dialysis .

٣ — التبلور :

ويكون ذلك باختيار مذيب خاص يذيب الأنزيم دون الشوائب العالقة به ثم يرشح المحلول ويركز محلول الأنزيم ثم يبرد فيترسب . وقد تمكن Sumner (١٩٢٦) من تحضير أنزيم اليوريز على هيئة بلورات مثمنة باستعمال الأسيتون في إذابتها .

٤ — استعمال القوة المركزية الطاردة العالية Ultracentrifuge

٥ — استعمال الفصل الكهربائي Electrophoresis

طبيعة الأنزيم النقي :

سبق أن أوضحنا أن جميع الأنزيمات التي أمكن فصلها حتى الآن ذات طبيعة بروتينية . على أن البروتين لا يكون كل جزئ الأنزيم بل يكون جزءاً منه . أما الجزء الآخر فيكون غير بروتيني . وقد اعتبر Willstatter أنزيم السكرينوزوما كل الأنزيمات بوجه عام — أنها تتكون من مادة كياوية فعالة المحمولة على نواة كبيرة غروية وقد تكون هذه المادة الكياوية ذات اتصال وثيق بالنواة الغروية أو يكون اتصالها ضعيفاً . وفي هذه الحالة الأخيرة يمكن فصلها عن النواة الغروية وتسمى بالمرافق .
لأنزيمي Co-enzyme .

وعلى ذلك فيطلق على الأنزيم بجزئيه «الأنزيم الكامل» Holo-enzyme ، وعلى المادة الغروية «الأنزيم المجرد» Apo-enzyme ، وعلى المادة الكياوية «المرافق .
الأنزيمي» Co-enzyme .

العوامل التي تؤثر على النشاط الأنزيمي :

١. — تركيز الأنزيم ومادة التفاعل :

ذات التجارب التي أجريت في أنبوبة الاختبار على أن سرعة تحلل مادة التفاعل تتناسب تناسباً طردياً مع كمية الأنزيم المضافة . وهذا ما يحدث فعلاً خصوصاً في بداية التفاعل وعندما يكون تركيز مادة التفاعل عالياً . ولكن بعد أن يستمر التفاعل

مدة من الزمن فإن تركيز مادة التفاعل ينزل وتتراكم نواتج تحليله في وسط التفاعل فتؤثر في سرعته وتقللها طبقاً لقانون فعل الكتلة Law of mass action

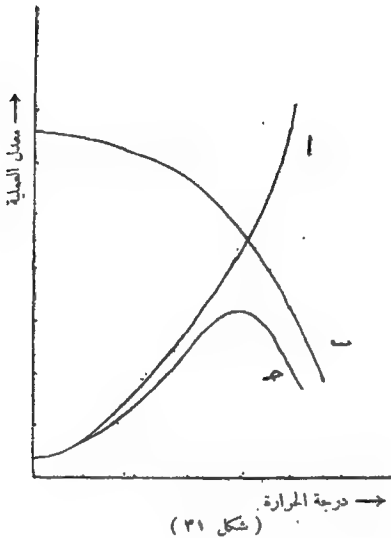
٢ — درجة الحرارة :

من المعروف من قوانين الكيمياء الطبيعية أن رفع درجة حرارة التفاعل الكيماوى ١٠ درجات مئوية يؤدي إلى زيادة سرعته مرتين أو ثلاث مرات . بينما في التفاعلات الطبيعية فإن هذه الزيادة تكون بين ١,٢ — ١,٣ من سرعة التفاعل .

وحيث أن الأنزيمات تقوم بتنشيط التفاعلات الكيماوية العادية ، فإن تأثير الحرارة على سرعتها يكون بمثابة تنشيط في التفاعلات الكيماوية العادية وهذا ما يحدث عادة عند رفع درجة حرارة الأنزيم ومادة التفاعل إلى ما يقرب من درجة ٥٠° وبعدها يبدأ الأنزيم في التأثر أو التلف بالحرارة العالية . وعلى ذلك فإن معدل التفاعل يأخذ في الانخفاض في الدرجات العالية نظراً إلى عدم ثباته عندها ، إذ أنه يتجمع تجمعا غير عكسى كما يحدث عند تسخين زلال البيض . و (شكل ٣١) يبين مدى النشاط الأنزيمى في درجات الحرارة المختلفة . فالخط البياني (١) يبين تأثير الحرارة في التفاعل الكيماوى البحت . والخط البياني (ب) يبين العلاقة بين درجة الحرارة ودرجة تأثر الأنزيم بها . أما المنحنى (ج) فإنه يبين العلاقة الناتجة بين معدل النشاط الأنزيمى ودرجة الحرارة أى محصلة التفاعل الكيماوى البحت ودرجة تأثر الأنزيم بالحرارة . وواضح من الخط البياني (ج) أن هناك درجة حرارة مثل عندها يبلغ النشاط الأنزيمى ذروته ، وتتراوح هذه الدرجة بين ٣٥° و ٤٥° م .

وقد أوضح Kanitz (١٩١٥) أن الدرجة المثلى للتفاعل الأنزيمى تختلف باختلاف نوع الأنزيم وكميته . فمثلا في أنزيم البابين Papain تكون الدرجة المثلى ٦٠° م . وحتى في الأنزيم الواحد فإن هذه الدرجة تتغير بتغير الفترة الزمنية للتجربة فكلما طال زمن تعرض الأنزيم لدرجة عالية من الحرارة قلت درجة الحرارة المثلى .

وبما يجب ملاحظته أن درجة الحرارة المثلى للأنزيمات تزيد دائماً عن درجة الحرارة المثلى لنشاط البروتوبلازم الحى حوالى ٣٥° م .



٣ - الأس الأيدروجيني

تؤثر درجة حموضة وسط التفاعل تأثيراً كبيراً على نشاط الأنزيم . فعظم الأنزيمات يقل نشاطها كثيراً إذا وجدت في وسط مخالف للأس الأيدروجيني الذي يناسبها . فبعض الأنزيمات تناسبها الحموضة العالية كأنزيم الببسين ($pH 1\frac{1}{2} - 1\frac{1}{4}$) بينما يناسب أنزيم اللاييز درجة متوسطة من الحموضة ($pH 4 - 5$) أما اليورين فيناسبه الوسط المتعادل ($pH 7$) والتربين ينشط عندما يكون الوسط مائلاً إلى القاعدية ($pH 7,8$) ومن هنا جاءت أهمية استعمال المنظفات .

وقد أوضحت التجارب أن الأس الأيدروجيني المناسب لأنزيم ما يختلف باختلاف

مصدر هذا الأنزيم . فمثلا أنزيم الأميليز المستخلص من البنكرياس تناسبه (pH ٧)
بينما المحضر من فطر الأسبرجلس *Aspergillus* يناسبه (٤ — ٥ pH) .
وللحلول المنظم المستعمل تأثير على الأس الايدروجيني المناسب فمثلا عند
استعمال محلول منظم من الجلات يكون الأس الايدروجيني المناسب لأنزيم اليورين
هو ٦,٧ أما إذا استعملت الفوسفات في التنظيم فإن الأس الايدروجيني المناسب
يكون ٧,٦ .

المرافقات الانزيمية Co-enzymes

قدمنا أن الأنزيم الكامل يتكون من الأنزيم المجرد والمرافق الأنزيمي ، وأن
الأنزيم المجرد هو الجزء البروتيني الذي يتأثر بالحرارة بينما لا تؤثر الحرارة في مرافقه
الأنزيمي ذو الطبيعة البلورية . وليس للمرافق الأنزيمي خواص الأنزيم ولكن
وجوده ضروري لإحداث التفاعل .

في عام ١٩٠٤ تمكن Harden & Young من فصل معقد الزيمز بطريقة الفصل
النشائي إلى جزئية البروتيني والبلوري . وقد وجدوا أن كلا منهما على انفراد لا يحدث
أى تفاعل ولكن عند خلطهما يتجدد نشاط الأنزيم . وقد وجدوا أن المرافق الزيمزي
يحتوي كمية كبيرة من الفوسفات الذاتية حتى قد اعتبر البعض أن المرافق الزيمزي
يتكون كله من الفوسفات . ولقد ثبت خطأ ذلك الاعتقاد عندما أضيفت الفوسفات
إلى الجزء البروتيني من الأنزيم ولم يحدث التفاعل المنتظر مما دعى Bayliss إلى الظن
بأن معقد الزيمز يحتاج إلى مرافقين أنزيمين أحدهما هو الفوسفات . ويميل الرأي
الحديث إلى الأخذ بأن المرافقات الأنزيمية تتكون من مواد عضوية على درجة عالية
من التخصص وأن الفوسفات تدخل في تركيب المرافق الزيمزي كما يدخل الحديد في
تركيب مرافق السكاتاليز تحت اسم « هيماتين » Hematin والنحاس في تركيب مرافق
التيروسينيز .

المُفَسَّطَات والمُثَبِّطَات Promotors and inhibitors

يزداد نشاط بعض الأنزيمات عند إضافة مواد معينة في أوساط تفاعلها . وقد

ظن أن الزيادة في نشاطها إنما ترجع إلى التأثير المنشط لهذه المواد المضافة ، إلا أنه قد وجد أخيراً أن ذلك النشاط يسببه إبعاد بعض المواد السامة التي تؤثر في نشاط الأنزيم لقابليتها للاتحاد بهذه المواد المضافة. فمثلاً يحتوى أنزيم اليوريز على مجموعة (د ك ب) التي عند إضافة آثار قليلة من اليود فإنها ترسب مسببة تقليل نشاط الأنزيم . أما بمجرد إضافة كبريتور الايدروجين إلى وسط التفاعل فإنه يعيد إذابة الأنزيم ويوجد نشاطه فوراً .

أما المثبطات فهي المواد التي تؤخر أو توقف عمل الأنزيم . فبعض الأنزيمات يبطل نشاطها عند إضافة أيونات المعادن الثقيلة كالفضة والزنك والنحاس ويمكن إعادة نشاطها إذا عوملت بكبريتور الايدروجين . وعلى العكس فإن أنزيم البيرو اكسيديز والسكاتاليز لا يتأثران في وجود أيونات مثل هذه المعادن ولكنها تتأثر كثيراً في وجود غاز حامض الايدروسيانيك وكبريتور الايدروجين لاحتوائهما على الهياتين ، ولكن يمكن إعادة نشاطهما بإعادة تبلورهما . وأنزيم السكرين يتسم بإضافة المعادن الثقيلة والتليوين .

وبهذه المناسبة نذكر أن العوامل المساعدة غير العضوية تتسم كذلك بهذه المواد الغريبة فمثلاً يتسم البلاتين الغروي بالزنك والزرنيخ واليود وأول أكسيد الكربون .

طريقة عمل الأنزيم :

يحتاج كل مركب إلى كمية معينة من الطاقة لكي ينشط قبل أن يدخل التفاعل وتسمى الطاقة اللازمة بطاقة التنشيط Energy of activation . وعمل الأنزيم أو أى عامل مساعد آخر هو أحداث التفاعل بدون الحاجة إلى كمية كبيرة من طاقة التنشيط وبذا توفر الطاقة لاستعمالها في تحليل كمية أكبر من المادة المتحللة . والمثل الآتى يوضح السمية اللازمة من هذه الطاقة لتحليل فوق أكسيد الايدروجين بدون استعمال الأنزيم وباستعمال العوامل المساعدة غير العضوية وباستعمال الأنزيم :

العامل المساعد الطاقة (سجر / جزى)

١٨٠٠٠

١١٧٠٠

٥٥٠٠

البلاتين الغروى .

أنزيم الكاتاليز

وتختلف الآراء فى تفسير طريقة عمل الأنزيم . فبرى Bayliss (١٩٢٥) أن مادة التفاعل تتجمع تجمعاً سطحياً على سطح الأنزيم توطئة لإتمام التفاعل الكيماوى . والمعتقد أن التفاعل الأنزيمى يحدث نتيجة لاتحاد المادة اتحاداً فعلياً بالأنزيم مكونة مركباً ما وأن هذا المركب يتحلل إلى الأنزيم الأصيل ونواتج التفاعل .

وقد أثبت Michaelis & Menten (١٩١٣) هذا الرأى الأخير نظرياً باعتبار أن سرعة تفاعل الأنزيم تتناسب مع تركيز المركب المتكون من اتحاد الأنزيم ومادة التفاعل وبالتالى مع درجة تركيز الأنزيم بالنسبة إلى مادة التفاعل . ويحدث التفاعل الأنزيمى على مرحلتين :

١ — يتحد الأنزيم (١) مع مادة التفاعل (م)



٢ — يتحلل المركب الأنزيمى الناتج (م١) إلى الأنزيم والنواتج النهائية للتحليل



تخصص الأنزيمات Specificity of enzymes

تختلف الأنزيمات عن العوامل المساعدة الأخرى غير العضوية فى أنها متخصصة فى تفاعلها إلى حد كبير . فمثلاً لا يحلل أنزيم الببسين Pepsin المواد الدهنية ولا الكربوهيدراتية ولكنه يحلل المواد البروتينية . كذلك أنزيم الأميليز Amylase لا يحلل إلا النشاء والسكريات . والدلالة على مدى تخصص الأنزيمات نرى أن أنزيم المولتين Maltase (وهو من الألفا جلوكوسيدازات α Glucosidases) لا يحلل إلا الألفا جلوكوسيدات ولكنه لا يؤثر على البيتا جلوكوسيدات .

ويلاحظ أن أنزيم ألفا جلوكوسيديز لا يحلل إلا المركب الأول إلى كحول الميثايل والـ ألفا جلوكوز في وجود جزىء من الماء . بينما لا يتحلل المركب الثانى (اليتا ميثايل جلوكوسيد) إلا بواسطة أنزيم اليتا جلوكوسيديز إلى كحول الميثايل واليتا جلوكوز في وجود جزىء من الماء أيضاً .

وثمة مثل آخر للدلالة على التخصص العالى للأنزيمات هو تحلل سكر الرافينوز (سكر ثلاثى) بواسطة أنزيم السكرين (المستخلص من الخيرة) والمليبايز . وسكر الرافينوز يتكون من ثلاثة سكريات أحادية هى :

ألفا جلكتوز ، ألفا جلوكوز ، جلما فركتوز - بهذا الترتيب

فعندما يؤثر أنزيم السكرين على هذا السكر فإنه يهاجمه من ناحية الفركتوز (لأن هذا الأنزيم يحتوى على جلما فركتوسيديز) ويحلله إلى الفركتوز والمليبايز (والأخير يتكون من ألفا جلكتوز وألفا جلوكوز) .

أما إذا استعمل أنزيم المليبايز فإنه يهاجم جزىء سكر الرافينوز من ناحية الجلكتوز (لاحتوائه على ألفا جلكتوسيديز) ويحلله إلى الجلكتوز السكروز (ألفا جلوكوز وجلما فركتوز) .

وبالمثل فإن جميع الأنزيمات المعروفة بالسكرين تحلل السكروز إلى الجلوكوز والفركتوز ، ولكنها قسمت إلى نوعين: سكرين جلوكوسيدى وسكرين فركتوسيدى . لأنها تختلف في عملها بالنسبة إلى سكر الرافينوز الثلاثى .

فقد وجد أن أنزيم السكرين المستخلص من فطر الاسبرجلس *Aspergillus* لا يمكنه أن يحلل سكر الرافينوز . بينما يستطيع نفس الأنزيم المستخلص من فطر الخيرة *Yeast* أن يحلله . والسبب في ذلك أن سكرين الخيرة هو سكرين فركتوسيدى أى أنه يهاجم جزىء الرافينوز من ناحية الفركتوز من طرف الجزىء . أما سكرين الاسبرجلس فهو سكرين جلوكوسيدى وعلى ذلك فإنه لا يستطيع مهاجمة الرافينوز من ناحية الجلوكوز لأن الجلكتوز يعترض طريقه . أما أنزيم السكرين المستخلص

من أى من المصدرين فإنه يستطيع أن يحلل السكروز لاحتواء الأخير على كل من الجلوكوز والفركتوز بحالة سهلة المثال .

من هذه الأمثلة وغيرها يتضح التخصص العالى للأنزيمات. ويمكن تشبيه الأنزيم والمواد التى يحللها كفتاح يفتح عدداً من أقفال تتفق معه من حيث تركيبها

تقسيم الأنزيمات Classification of enzymes

تحتوى الخلايا النباتية على عدد كبير من الأنزيمات لذلك كان من الضروري تقسيمها . ونظراً لأن تركيبها الكيماوى غير معروف بالضبط فقد اتبع فى تقسيمها أن يكون مبنياً على طبيعة التفاعلات التى تنشطها .

فمثلاً سميت مجموعة الأنزيمات التى تقوم بعملية التحليل المائى Hydrolysis بالأنزيمات المحللة أو الأنزيمات الهاضمة كالتى تحلل النشاء إلى المولتوز والتى تحلل السكروز إلى الجلوكوز والفركتوز والتى تحلل الدهون إلى الأحماض الدهنية والجليسرين.

وتسمى Hydrolases

وهناك مجموعة أخرى من الأنزيمات المحللة التى لا تستعمل الماء فى تحليلها ولكنها تحلل مادة التفاعل فى وجود حامض الفسفوريك لذلك سميت بالفسفوريلازات.

Phosphorylases

وتمثل المجموعة الثالثة الأنزيمات التى تقوم بتفكيك روابط ذرات الكربون فى المركبات الكربونية وقد أطلق عليها اسم الأنزيمات الهادمة Desmolases

أما المجموعة الرابعة فهى مجموعة الأنزيمات التى تحدث عمليات التأكسد والاختزال.

داخل خلايا النبات وقد سميت بالأنزيمات المؤكسدة Oxidising enzymes

وبما يجب ملاحظته أن هناك مواد يطلق عليها لفظ الأنزيمات مما لا يمكن وضعها تحت قسم من الأقسام السابقة حيث قد ثبت أنها مزيج من الأنزيمات المتحددة ومثال ذلك أنزيم الزيميز أو معقد الزيميز Zymase complex فقد اتضح أنه يتكون من جملة أنزيمات تتبع أقساماً مختلفة كما سيأتى ذكره بعد .

(١) الأنزيمات المحللة (الهاضمة) Hydrolases

تقسم أنزيمات هذه المجموعة إلى الأقسام الآتية :

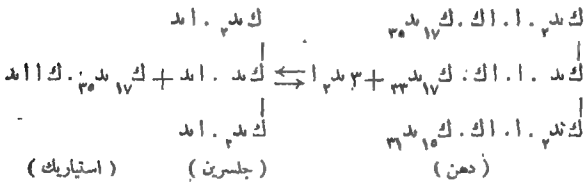
- ١ - محللات الاسترات Esterases
- ب - محللات الكربوهيدرات Carbohydrases
- ح - محللات البروتينات Proteolytic enzymes

١ - محللات الاسترات Esterases

وهي التي تحلل الاسترات إلى الكحولات والأحماض :

استر + ماء → كحول + حامض

ومن أمثلتها أنزيم الليباز Lipase الذي يحلل الدهن إلى الأحماض الدهنية والجلسرين



وكذلك أنزيم الكلوروفيلين Chlorophyllase الذي يحلل الكلوروفيل في وسط حامضي إلى كحول الفيتول وحامض الكلوروفيليد

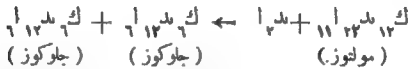
وأنزيم الفوسفاتاز Phosphatase الذي يحلل فوسفات الجلسرين إلى الجلسرين وحامض الفسفوريك . كما يحلل فوسفات الهكسوز إلى الهكسوز وحامض الفسفوريك

ب — محلات الكربوهيدرات Carbohydrases

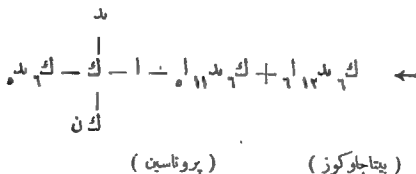
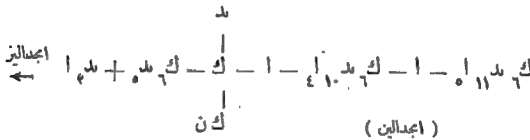
وتقسم إلى الأقسام الآتية :

أولاً — الجليكوسيدازات Glycosidases

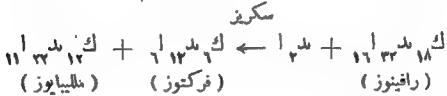
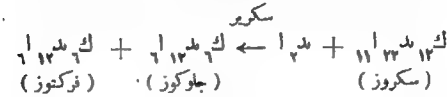
ويختلف عمل هذه الأنزيمات باختلاف التركيب الداخلى لنوع السكر المتحلل .
فمثلاً أنزيم المولتين Maltase (الفاجلوكوسيديز) يحلل سكر الشعير إلى جزئين من
الجلوكوز (الفا)



وأنزيم الأملسين Emulsin (بيتاجلوكوسيديز) الذى يحلل الأجدالين إلى
الجلوكوز والبنزالدهيد وحامض الايدروسيمانيك ويوجد هذا الأنزيم فى ثمار اللوز
الحلو والمر ، ولكن مادة الأجدالين لا توجد إلا فى اللوز المرفق . والواقع أن
هذا الأنزيم يتركب من أكثر من أنزيم واحد هى : الأجدالين Amygdalase
والبرونين Prunase والأكسينيتريلاز Oxynitrilase ويحدث التحليل على المراحل
الآتية :



الأول إلى الفاجلوكوز وهتروفركتوز ، ومحللا الثاني إلى الفركتوز والمليبايوز :



ثانياً — أنزيمات عذرات السكر . Polysaccharide - enzymes

وتقسم إلى الأقسام الآتية :-

١ — أنزيمات تحليل النشاء Starch - splitting enzymes

يطلق اسم الأميلين Amylase أو الدياستيز Diastase على الأنزيمات التي تحلل النشاء تحليلًا مائياً إلى مكوناته البسيطة . وقد ثبت أن أنزيم الأميلين يتركب من جملة أنزيمات هي : الأميلين الحقيقي Amylase proper وهذه تحلل النشاء إلى دكسترين . وأنزيم الدكسترين Dextrinase الذي يحلل الدكستريانات إلى المولتوز . وإذا وجد أنزيم المولتين مع هذين الأنزيمين فإنه يحلل المولتوز إلى الجلوكوز . وقد وجد أن أنزيم الدياستيز المستخرج من فطر الأسبرجلس يحتوى على هذه الأنزيمات الثلاثة ويسمى تاكا دياستيز Taka - diastase

٢ — أنزيمات تحليل السيلولوز Cellulose - destroying enzymes

وأهمها أنزيم السيلولين Cellulase الذي يحلل السيلولوز إلى السلوبايوز . وأنزيم السلوباين Cellobiase الذي يحلل السلوبايوز (سكر ثنائي) إلى مكوناته من البيتا جلوكوز .

وأنزيم الساين Cytase الذي يحلل الهيميسيلولوز Hemicellulose الذي يكثر

وجوده في أعضاء التخزين كبذور البلح والبن - إلى الجلوكوز وسكريات أخرى وأحماض .

٣ - أنزيم يحلل الأنولين Inulin - splitting enzyme

يحلل أنزيم الأنولين Inulase الأنولين الموجود في درنات الطرطوفة إلى سكر الفركتوز . وحيث أن الأنولين هو ناتج تكثيف سكر الفركتوز ، لذلك يعتبر الأنولين من الفركتوسيدات .

٤ - أنزيمات تحلل المواد البكتينية

توجد المواد البكتينية في النبات على صور ثلاث : فقد توجد على هيئة حامض البكتيك أو أملاحه . وقد توجد على شكل استرات حامض البكتيك . أو متحدة مع السليولوز . وفي هذه الحالة الأخيرة تكون غير ذائبة ، وأشهر أنزيماتها : أنزيم البكتوزيناز Pectosinase . الذي يحلل البكتينات الغنية ذائبة إلى بكتينات ذائبة .

أنزيم البكتاز Pectase يحلل استرات حامض البكتيك إلى حامض البكتيك والكحول .

أنزيم البكتيناز Pectinase الذي يحلل المواد البكتينية إلى سكريات خماسية وسداسية الكربون .

ونظراً لوجود هذه الأنزيمات في بعض الكائنات الدقيقة فإنها تستخدم في عملية تعطير الكتان فتفكك الألياف وبذا تصلح للصناعة .

ح - محلات البروتينات Proteolytic - enzymes

وتقوم بتحليل البروتين إلى الأحماض الأمينية أو الببتيدات وتنقسم إلى الأقسام الآتية :

أولاً : البروتيازات Proteases وتحلل جزئى البروتين المعقد إلى عديد الببتيدات وأهمها :

أنزيم البابين Papain يوجد فى لبن نبات الباباز .

أنزيم البروملين Bromelin يوجد فى نبات الأناناس .

أنزيم الكرادين Cradein يوجد فى لبن أشجار التين .

ثانياً : الببتيديزات Peptidases تحلل الببتيدات إلى الأحماض الأمينية ومنها :

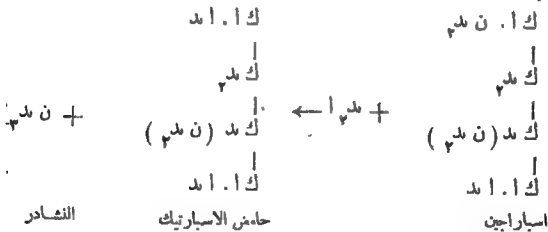
١ - البوليپتيديزات Polypeptidases وهى تحلل عديد الببتيد إلى ثنائى الببتيد Dipeptides وأحماض أمينية .

٣ - الدايببتيديزات Dipeptidases التى تحلل الببتيدات الثنائية إلى الأحماض الأمينية .

ثالثاً : الاميديزات Amidases

وهى التى تفكك رابطة الكربون والأزوت (ك-ن) . ومعظم هذه الانزيمات يطلق الأمونيا من مواد التفاعل ومن أهم أمثلتها :

أنزيم الاسباراجينيز Asparaginase يقوم بتحليل الاسباراجين إلى حامض الاسبرتيك Aspartic acid والنشادر فى وجود الماء .



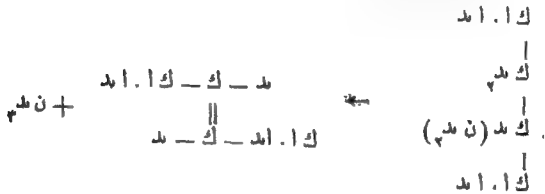
النشادر

حامض الاسبارتيك

اسباراجين

أنزيم الجلوتامينيز Glutaminase الذى يحلل الجلوتامين إلى حامض الجلوتاميك والنشادر .

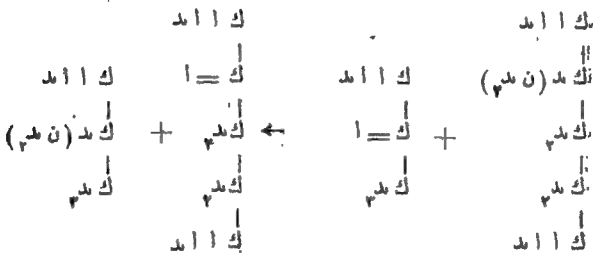
أنزيم الاسبارتين Aspartase يحلل حامض الاسبارتيك Aspartic acid إلى
 ألفيوماريك Fumaric والنشادر .



حامض الاسبارتيك حامض الفيوماريك النشادر
 أنزيم اليورين Urease يحلل اليوريا في وجود الماء إلى النشادر وثاني أكسيد
 الكربون .

(ن د) ك ا + د ← ٢ ن د + ك ا
 وقد اكتشف حديثاً مجموعة من الأنزيمات تقوم بنقل مجموعة الأمين (ن د)
 من مركب إلى آخر ويطلق عليها أنزيمات ناقلة الأمين Transaminases
 ومن أمثلتها الأنزيم الذي ينقل مجموعة الأمين من حامض الجلوتاميك إلى حامض
 ألفيروفيك فينتج عن ذلك حامض ألفا كيتوجلوتاريك α - keto glutaric acid

والألانين Alanine



حامض جلوتاميك حامض بيروفيك حامض كيتوجلوتاريك الألانين

(٢) الفسفوريليزات Phosphorylases

وقد اكتشف منها ثلاثة مجاميع هي :

الأولى: وهي المجموعة التي تسبب فسفرة الهكسوزات Hexose phosphorylation ومن أنزيماتها :

أنزيم الهكسوكايناز Hexokinase ويقوم بتنشيط جزيء سكر الهكسوز بنقل جزيء من الفوسفات من أدنوسين ثلاثي الفوسفات إلى ذرة الكربون السادسة في السكر. جلوكوز + أدنوسين ثلاثي الفوسفات ←

جلوكوز ٦ فوسفات + أدنوسين ثنائي الفوسفات
ك ٦ بد ١١ + أدنوسين ثلاثي الفوسفات ←

ك ٦ بد ١١ اه (بد فوا ٤) + أدنوسين ثنائي الفوسفات
أنزيم الفسفوميوتاز Phosphomutase ينقل جزيء الفوسفات من ذرة الكربون السادسة إلى ذرة الكربون الأولى ويكون جلوكوز ١ فوسفات Glucose 1 phosphate

جلوكوز ٦ فوسفات ← جلوكوز ١ فوسفات

أنزيم فوسفوايسومريز Phospho - isomerase يحول جلوكوز ٦ فوسفات إلى فركتوز ٦ فوسفات .

جلوكوز ٦ فوسفات ← فركتوز ٦ فوسفات

الثانية: وهي التي تحلل النشاء في وجود حامض الفسفوريك مكونة جلوكوز ١ فوسفات

بأنزيم Starch phosphorylase

نشاء + بد فوا ٤ ← جلوكوز ١ فوسفات

الثالثة: وهي التي تحلل السكروز في وجود حامض الفسفوريك إلى جلوكوز ١ فوسفات

+ فركتوز ٥ فوسفات + بد فوا ٤ ← جلوكوز ١ فوسفات

سكروز + فركتوز ٥ فوسفات ← جلوكوز ١ فوسفات

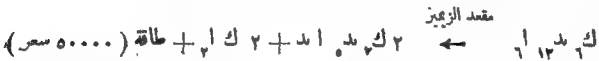
ك ٦ بد ١١ + بد فوا ٤ ← ك ٦ بد ١١ اه (بد فوا ٤) + ك ٦ بد ١٣

(٣) الانزيمات الهادمة Desmolases

سبق أن ذكرنا أن أنزيم الاكسينيتريلاز الموجود في أنزيم معقد الأملسين هو من الانزيمات الهادمة ، لأنه يفسكك الرابطة بين ذرات الكربون في الاكسينيتريلاز . وأهم الانزيمات الهادمة هو مجموعة أنزيم معقد الزيمين ، تلك المجموعة التي تلعب دوراً هاماً في عمليات التنفس في النبات .

ويقوم معقد الزيمين بتخمير سكريات الجلوكوز والمانوز والفركتوز ، بينما لا يتخمير سكر الجلكتوز وكلها سكريات أحادية .

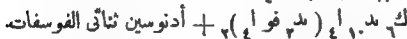
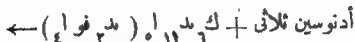
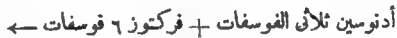
ويتركب هذا الانزيم من جملة أنزيمات تشترك كلها الواحد تلو الآخر في تخمير السكر إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون طبقاً للمعادلة :



خطوات التخمر الكحولي :

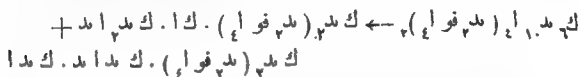
لا بد لكي تدخل السكريات في عملية الاختار الكحولي من فسفرتها ثم تتحول إلى فركتوز ٦ فوسفات من السكريات المقابلة كما سبق أن بينا في فسفرة الهكسوزات في وجود جزيء من أدنوسين ثلاثي الفوسفات .

يلي ذلك فسفرة الفركتوز ٦ فوسفات مكوناً فركتوز ١ ٦ ثنائي الفوسفات ويتم ذلك بنقل جزيء الفوسفات من جزيء آخر من أدنوسين ثلاثي الفوسفات بنفس الانزيم .



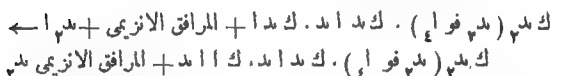
تبتدىء بعد ذلك خطوات التحليل كما افترضها مايرهوف Meyerhof وآخرون :

(١) ينكسر جزئياً، فركتوز ١ ٦ ٦ ثنائي الفوسفات في وجود أنزيم الألدوليز Aldolase إلى جزئياً من فوسفات الأستون ثنائي الأيدروكسيد Dihydroxyacetone phosphate وجزئياً من ٣-فسفوجلسريك الدهيد 3-Phosphoglyceric aldehyde



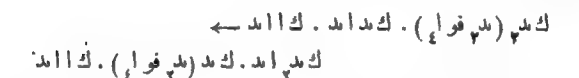
(٢) بواسطة أنزيم Isomerase يظل تركيز هذين المركبين ثابتاً في وسط التفاعل ويحدث الاتزان عندما تكون نسبة الأول إلى الثاني ٩٧ : ٣

(٣) يتأكسد ٣-فسفوجلسريك الدهيد إلى حامض ٣-فسفوجلسريك 3-Phosphoglyceric acid في وجود أنزيم Triosephosphate dehydrogenase ويحتاج هذا الانزيم إلى مرافق أنزيمي يستعمل كستقبل للأيدروجين من جزئياً الفسفوجلسريك الدهيد الذي يتأكسد بدوره.



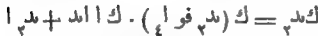
وعندما يفقد الفسفوجلسريك الدهيد من وسط التفاعل يقوم أنزيم الايسوميريز Isomerase بإمداد وسط التفاعل بكمية جديدة منه تأتي من فعل الانزيم على فوسفات الأستون ثنائية الأيدروكسيد وهكذا تستمر العملية.

(٤) يقوم أنزيم فسفوجلسروميوتاز Phosphoglyceromutase بنقل مجموعة الفوسفات في حامض ٣-فسفوجلسريك من ذرة الكربون الثالثة إلى ذرة الكربون الثانية مكوناً حامض ٢-فسفوجلسريك.



(٥) وعندما يؤثر أنزيم الاينوليز Enolase فإن حامض ٢-فسفوجلسريك يفقد

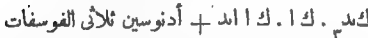
جزئياً من الماء مكوناً مركباً أيونياً هو حامض الفسفويروفيك Phosphopyruvic



(حامض ٢ - فسفوجلسريك) (حامض فسفويروفيك) (ماء)

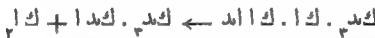
(٦) تبعد مجموعة حامض الفسفوريك من حامض الفسفويروفيك وتنقل إلى مركب مستقبل للفوسفات كالادنوسين ثنائي الفوسفات ويتحول حامض الفسفويروفيك

إلى حامض البيروفيك وذلك بواسطة أنزيم Pyruvic phosphokinase



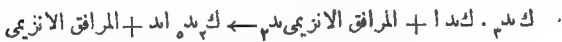
(٧) يتحلل حامض البيروفيك إلى الاسيتالدهيد وثاني أكسيد الكربون (والأخير أول نواتج عملية الاختار الكحول) ويتم ذلك بواسطة أنزيم

الكاربوكسيلاز Carboxylase



(حامض البيروفيك) (اسيتالدهيد)

(٨) بواسطة أنزيم الكحول ديهيدروجيناز Alcohol dehydrogenase يتكون الكحول الايثايل من الاسيتالدهيد وذلك بنقل الايدروجين الموجود في المرافق الأنزيمي الناتج في المرحلة الثالثة إلى الاسيتالدهيد وبذلك يعود المرافق الأنزيمي إلى حالته الأولى ليدخل في تفاعل آخر .



وبما يجب ملاحظته أن أنزيم الكاربوكسيلاز لا يوجد في عضلات الحيوان وعلى ذلك فإن حامض البيروفيك لا يتحول إلى الاسيتالدهيد وثاني أكسيد الكربون في عضلاته ، ولكنه بدلا من ذلك يختزل إلى حامض اللكتيك Lactic acid في وجود أنزيم اللاكتيك ديهيدروجيناز Lactic dehydrogenase . وذلك بنقل الايدروجين من المرافق الأنزيمي الناتج في المرحلة الثالثة إلى حامض البيروفيك .

كبد . ك . ا . ك ا ا د + المرافق الانزيمى كبد ←

كبد . كبد . ا . ك ا ا د + المرافق الانزيمى

(حامض الكسكك)

(حامض البيرويك)

ويمكن بإضافة بعض المواد تحويل مجرى سير التفاعل إلى جهة أخرى لينتج الجلوسرين . فإذا أضيفت مادة كبريتيت الصوديوم إلى وسط التفاعل ، فإنها تتحد مع الاسيتالدهيد الناتج فى الخطوة السابعة وبذلك تمنع حدوث الخطوة الثامنة . ويحدث بدلا منها أن تستقبل فوسفات الاسيتون ثنائية الايدروكسيد (الناتج فى العملية الأولى) الايدروجين من المرافق الانزيمى الذى اختزل فى الخطوة الثالثة . وينتج عن ذلك فوسفات الجلوسرين ويتأكسد المرافق الانزيمى ثم تتحلل فوسفات الجلوسرين بأنزيم الفوسفاتين إلى حامض الفسفوريك والجلوسرين .

وقد استخدمت هذه الطريقة فى ألمانيا فى الحرب العظمى الأولى (١٩١٤)

لإنتاج الجلوسرين .

(٤) أنزيمات التأكسد Oxidising enzymes

يحدث التأكسد إما بإضافة الاكسجين إلى المركب أو بنزع الايدروجين منه أو يفقد الالكترونات من المادة المؤكسدة وانتقالها إلى العامل المؤكسد الذى يختزل بدوره .

وتنقسم أنزيمات هذه المجموعة إلى قسمين :

١ - أنزيمات نافذة لهوكسين

وهذه تنقسم بدورها إلى المجموعات الآتية :

أولا : الاكسيديزات Oxidases

وهذه تستعمل فى الأكسدة جزئى الأكسجين العادى

ثانياً : البيرواكسيديزات Peroxidases

وهذه تستعمل فى الأكسدة الأكسجين النشط الناتج من تحليل فوق الأكسيد

ثالثاً : الكاتاليزات Catalases

وهذه تحلل فوق أكسيد الايدروجين إلى الماء والأكسجين .

ب — أنزيمات ناقلة لهيدروجين

وهي تقوم بالأكسدة عن طريق نزع الايدروجين من المركب . ولابد من وجود مستقبل ايدروجيني Hydrogen - acceptor ليأخذ الايدروجين المنزوع من المادة التي تتأكسد وتسمى مانحة الايدروجين Hydrogen - donator وهذه تنقسم بدورها إلى ثلاثة أقسام هي :

أولاً — أنزيمات تنقل الايدروجين إلى الريبوفلافين Riboflavin مثل أنزيم الشاردنجر Schardinger enzyme

ثانياً — أنزيمات تنقل الايدروجين إلى المرافقات الأنزيمية الخاصة بها مثل الكحول ديهيدروجينيز Alcohol dehydrogenase

ثالثاً — أنزيمات تنقل الايدروجين إلى السيتوكروم Cytochrome مثل السكسينيك ديهيدروجينيز Succinic dehydrogenase

١ — أنزيمات ناقلة للأكسجين

أولاً : الأكسيديزات

ومنها ما تكون مراكزها الفعالة عنصر الحديد مثل أنزيم السيتوكروم أكسيديز Cytochrome oxidase الذي يؤكسد السيتوكروم المختزل في وجود الأكسجين إلى السيتوكروم والماء .

ومنها ما تكون مراكزها الفعالة عنصر النحاس مثل أنزيم التيروسينيز Tyrosinase وهذه تؤكسد المركبات الفينولية باستعمال أكسجين الجو ، وكذلك أنزيم أكسيديز حامض الاسكوربيك Ascorbic acid oxidase الذي يؤكسد حامض الاسكوربيك

(فيتامين ح) إلى حامض الاسكوربيك المؤكسد والماء . ومنها أيضاً أنزيم الليكاز Laccase الذى يوجد فى أشجار الك الياباقى ويقوم بأكسدة نوعين من الفينولات الموجودة فى عصارة هذه الأشجار منتجاً صمغ الك الأسود .

هذه الأكسيدات هى التى تسبب تلون الأنسجة النباتية المقطوعة عند تعرضها للجو باللون البنى . ويمكن الاستدلال على وجودها وتأثيرها بإضافة محلول الجواياكم (وهو مركب فينولى) إذ يتلون باللون الأزرق نتيجة لأكسدةه بأكسجين الجو فى وجود الأكسيدات .

ثانياً : البيروأكسيدات

وأنزيمات هذه المجموعة شائعة الوجود فى أنسجة النباتات وتعمل بنشاط فى وجود أى فوق أكسيد مثل فوق أكسيد الايدروجين الذى يحلله إلى الماء والأكسجين النشط ، ويستطيع أن يؤكسد بهذا الأكسجين مجموعة كبيرة من المركبات الفينولية مثل الارثو والميتا والبارا كيرزول والبيروجولول والجواياكم . فإذا أضيف محلول الجواياكم إلى مستخلص جذور الفجل فإن الجواياكم لا يتأكسد لعدم وجود الأكسجين النشط المؤكسد . أما إذا أضيف إلى المستخلص قليلاً من H_2O_2 فسرعان ما يتغير لون الجواياكم إلى اللون الأزرق لأكسدةه بالأكسجين النشط الناتج من تفكك H_2O_2 .

ثالثاً : الكاتاليزات

أنزيمات هذه المجموعة شائعة أيضاً فى النباتات . ويطوّر هذا الانزيم بتفكك فوق أكسيد الايدروجين فقط إلى الماء والأكسجين النشط :

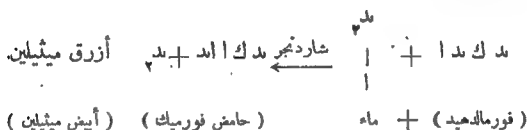


ووجود هذه الأنزيمات هام جداً فى حياة النبات لأنه إذا زاد تركيز H_2O_2 عن حد معين فى الخلية فإنه يسبب تسمم الخلايا وموتها . ومن الملاحظ أن الكاتاليزات لا تفكك H_2O_2 إلا إذا زاد تركيزه إلى درجة يصبح معها ضاراً بالخلية وأن

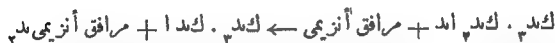
البيرواكسيديزات قادرة على استنفاد H_2 في عمليات الأكسدة متى كان تركيزه منخفضاً في الخلايا .

ب - أنزيمات ناقلة الايدروجين

١ - أنزيم الشاردنجر وقد اكتشفه شاردنجر Schardinger (١٩٠٢) الذي لاحظ أنه إذا أضيف الألدهيد وأزرق الميثيلين إلى اللبن الطازج في غياب الأكسجين فإن الأنزيم يحلل جزئ الماء إلى الأكسجين والايدروجين فيؤكسد الأكسجين الألدهيد إلى الحامض بينما يختزل أزرق الميثيلين بالايدروجين مكوناً أبيض الميثيلين طبقاً للمعادلة :



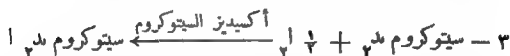
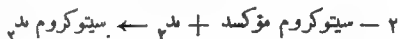
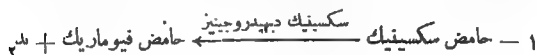
٢ - أنزيم الكحول ديهيدروجينيز Alcohol dehydrogenase وهو يؤكسد كحول الايثايل إلى الأسيتالدهيد . ويوجد في الخميرة . ويلزم للفاعل وجود المرافق الأنزيمي حيث يدخل في التفاعل كمتقبل للايدروجين :



وكذلك أنزيم Triosephosphate dehydrogenase الذي سبق ذكره في المرحلة الثالثة من التخمر الكحولي

٣ - أنزيم السكسينيك ديهيدروجينيز Succinic dehydrogenase ويكثر في جميع الكائنات الحية . وهذا الأنزيم ينزع الايدروجين من حامض السكسينيك في وجود مستقبل للايدروجين وهو السيتوكروم الذي يختزل بالايدروجين ، وعند تعرضه للأكسجين الجوي يتأكسد السيتوكروم ثانياً ويتكون الماء . ويتم ذلك

التفاعل الأخير في وجود أنزيم السيتوكروم أكسيداز وسبق السلام عنه في الأكسيدازات ، وتصور الخطوات الآتية هذا التفاعل :



ويعتبر الأكسجين في الخطوة الأخيرة مستقبلاً للإيدروجين من السيتوكروم المختزل . ويمكن لأزرق الميثيلين أن يحل محل الأكسجين فيتحول إلى أبيض الميثيلين . لاخراله . أما إذا تعرض أبيض الميثيلين مرة ثانية إلى الأكسجين الجوى فإنه يتحول ثانية إلى أزرق الميثيلين .



الباب التاسع

التحول الغذائي (الأيض)

Metabolism



يحصل النبات الأخضر على غذائه من مصدرين :

المصدر الأول : وهو التربة ويحصل النبات منها على الماء والأملاح الذائبة .
المصدر الثاني : وهو الهواء الجوي ومنه يأخذ النبات غاز ثاني أكسيد الكربون .
وعندما يحصل النبات على احتياجاته من العناصر من هذه المصادر ، فإنه يقوم
ببنائها وتركيبها في جسمه مستعيناً بالطاقة الضوئية بطريق مباشر أو غير مباشر
حسب نوع المادة التي تبني وبمساعدة العوامل المساعدة العضوية (الأنزيمات) التي
سبق الإشارة إليها ، وينفرد غاز الأكسجين وينطلق في الهواء نتيجة لبعض عمليات
البناء..

والنباتات تبني طائفة كبيرة من المركبات العضوية كالسكريات والبروتينات
والدهون والمواد الدهنية والأحماض العضوية والأصبغ النباتية والأنزيمات
والفيتامينات والهرمونات وغيرها .

ولا بد لإتمام عمليات البناء السابق الإشارة إليها من استخدام الطاقة التي تخزن
في جزيء المادة التي تبقى كامنة بها طالما بقيت هذه المواد على حالتها . فجزء السكر
مثلاً يبني من ثاني أكسيد الكربون الجوي والماء بمساعدة الطاقة المستمدة من ضوء
الشمس وفي وجود المادة الخضراء ، وتبقى الطاقة التي استخدمت في بناء جزيء السكر
كامنة به طالما بقي جزيء السكر على حاله ، إلا أنها تنطلق كلها إذا انحل هذا المركب
إلى مكوناته الأولية كما يحدث عند حرق قطعة من السكر ، فإنه تولد طاقة حرارية

هى التى كانت مخزنة فى جزئياته ويحول جزئىء السكر إلى الماء وثانى أكسيد الكربون . وقد تنطلق بعض الطاقة إذا تحول المركب المعقد إلى مركب آخر أقل تعقيداً .

ولست عمليات التحول الغذائى جميعها عمليات بناء ، بل إن بعضها عمليات هدم وتحدث العمليتان - البناء والهدم - فى النبات جنباً إلى جنب . وتؤدى عمليات الهدم إلى إطلاق جزء أو كل الطاقة الكامنة فى الجزئىء المهدم كما سبق الإشارة إليه .

وقد يتبادر إلى الذهن أن عمليات الهدم التى تحدث داخل النبات إنما هى عمليات ضارة ولا تعود على النبات بأية فائدة . ولكن الواقع أن عمليات الهدم التى تحدث فى النبات تحت الظروف العادية لا تقل أهمية عن عمليات البناء . بل إن الهدم فى بعض الأحيان يكون ضرورياً لكي يتم بناء بعض المركبات كإسباتى ذكره فى حينه فعند إنبات البنور مثلاً وعندما يبدأ النبات فى تكوين مجموعته الجذرى ومجموعه الخضرى فإن النبات يبدأ حياته بعمليات هدم المواد المدخرة فى أجزاء البذرة . وتحول المواد المدخرة المعقدة إلى مواد أقل تعقيداً يستخدمها النبات فى بناء خلايا الجذير والريشة ، ويستعمل الطاقة الناتجة من عملية التحول فى بناء الخلايا الجديدة ، وفى دفع جذيره فى التربة والريشة فى الهواء . وتستمر عملية الهدم حتى يتكون للنبات مجموع جذرى ومجموع خضرى يمكنه بواسطتهما امتصاص الماء والأملاح من التربة وثانى أكسيد الكربون من الهواء الجوى وعندها يعتمد النبات على نفسه فى بناء مركباته .

غير أنه يحدث أحياناً أن يحتل النظام الداخلى للبروتوبلازم ويفقد سيطرته على عمليات التحول الغذائى نتيجة لعوامل داخلية أو خارجية عارضة مما يؤدى إلى حدوث الانحلال الذاتى Autolysis وتكون داخل خلايا النبات مواد غير تلك التى تنتج من عمليات التحول الغذائى ، فإذا وجد النبات مثلاً فى جو خالٍ من الأكسجين - وهذه حالة غير طبيعية - تكون بخلاياه مواد ضارة كالسكرول والإسيتالدهيد .

من ذلك نرى أن النباتات تحصل على غذائها من مواد أولية بسيطة وتقوم

بتحويلها إلى مواد عضوية معقدة ، فلك إذن الوسيلة الطبيعية لتكوين المركبات العضوية في الطبيعة . وبناء على ما تقدم فإنه يمكن تقسيم عمليات التحول الغذائي إلى قسمين رئيسيين :

القسم الأول : ويشمل عمليات البناء Anabolism وفيها تستخدم المواد الأولية البسيطة في بناء المواد الأكثر تعقيداً مع استعمال الطاقة واختزانها . وتشمل عمليات البناء العمليات الآتية :

(أ) بناء المواد الكربوهيدراتية Carbohydrate synthesis

(ب) بناء المواد الأزوتية Protein synthesis

(ح) بناء المواد الدهنية Fat synthesis

القسم الثاني : ويشمل عمليات الهدم Katabolism وفيه تمحل المواد المعقدة إلى مركبات أولية بسيطة وتنطلق الطاقة المختزنة .



الفصل الأول

البناء Anabolism

أولاً — بناء المواد الكربوهيدراتية Carbohydrate synthesis

يبنى النبات المواد الكربوهيدراتية من الماء وثنائي أكسيد الكربون . ويحصل النبات على الماء من التربة أما ثنائي أكسيد الكربون فيأخذه من الهواء الجوي . لذلك سميت هذه العملية بالتمثيل الكربوني Carbon assimilation حسب المعادلة :

ثنائي أكسيد الكربون + ماء + طاقة ← سكر + ماء + أكسجين .

وحيث أن الضوء ضروري لكي يتم اتحاد الماء وثنائي أكسيد الكربون لتكوين جزئ المادة الكربوهيدراتية فإنه كثيراً ما تسمى هذه العملية بعملية التمثيل الضوئي

Photosynthesis

وإذا توفر الماء وثاني أكسيد الكربون ولم توجد المادة الخضراء ، فإن عملية بناء المواد الكربوايدراتية لا تتم ، لأن المادة الخضراء هي التي تساعد على إتمام العملية ، بدليل أن الأجزاء النباتية الحالية منها لا تتم فيها هذه العملية . لذلك فإنها تسمى أيضاً بالتمثيل الكلوروفيل Chlorophyll assimilation

وتعتبر عملية البناء الضوئي أهم العمليات البنائية في حياة النبات والحيوان . ولنباتات الخضراء القدرة على امتصاص الطاقة الضوئية من ضوء الشمس وتحويلها إلى طاقة كياوية تستعملها في بناء جزيء الكربوايدرات المعقد .

إلا أن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة كـ بعض أنواع البكتيريا ، يمكنها أن تبني المركبات الكربوايدراتية رغم خلو أجسامها من المادة الخضراء ، وذلك بأن تستخدم الطاقة التي تنطلق من بعض التفاعلات الكياوية أثناء تنفسها . فمثلاً تؤكد بكتريا النيتروزوموناس Nitrosomonas النشادر إلى أزوتيت في وجود الأكسجين .

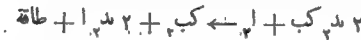


وتستخدم البكتيريا جانباً من هذه الطاقة في بناء جزيء المادة الكربوايدراتية من الماء وثاني أكسيد الكربون .

وتقوم بكتريا النيتروبا كتر Nitrobacter بأكسدة الأزوتيت إلى أزوتات .



وتؤكد بكتريا الكبريت كبريتور الأيدروجين إلى الكبريت في وجود الأكسجين وتنطلق الطاقة التي تستعمل كذلك في بناء المواد الكربوايدراتية :



وحيث أن مصدري الطاقة المستعملة في هذا النوع من البناء الكربوايدراتي الذي

تقوم به البكتريا هو التفاعلات الكيماوية ، فإن هذا النوع من البناء يعرف بالبناء الكيماوى Chemosynthesis .

ميكانيكة البناء الضوئى :

عما لا شك فيه أن تكوين السكر (وهو أول نواتج عملية البناء الضوئى) يتم على مراحل متتابعة بأن تكون مركبات بسيطة تأخذ فى التعقيد تدريجياً حتى ينتهى الأمر بتكوين جزئى الكربوهيدرات .

وأول من وضع تفسيراً معقولاً لهذه المراحل هو Baeyer (١٨٧٠) الذى قام بوضع نظرية الفورمالدهيد وفيها يفترض أن العملية تتم على مرحلتين :

المرحلة الأولى: وفيها يختزل ثانى أكسيد الكربون فى وجود الماء إلى فورمالدهيد.



المرحلة الثانية : وفيها تتكاثف جزيئات الفورمالدهيد الناتجة فى المرحلة الأولى مكونة جزئى سكر الهكسوز .




وقد تعرضت نظرية Baeyer إلى كثير من النقد . وكان أكثر النقد منصباً على تكوين الفورمالدهيد داخل خلايا النبات . إذ أن التجارب أثبتت أن هذا المركب سام جداً لخلايا النبات حتى إذا وجد بتركيزات منخفضة جداً . فثلاً وجد أن نباتات الإلووديا ظهرت عليها أعراض التسمم عندما وضعت فى محلول من الفورمالدهيد تركيزه ٠,٠٠٠٤ ٪ .

إلا أن أنصار نظرية الفورمالدهيد ، ومنهم Baly (١٩٢٧ — ١٩٢٩) دفعوا بأن الفورمالدهيد الناتج يتحد بمجرد تكوينه ويتكاثف مع بعضه مكوناً جزئى السكر وبذلك لا يظهر أثره السام .



وفى عام ١٩١٨ قام Willstatter and Stoll بادخال بعض التعديلات على نظرية

الفورمالدهيد . تنخلص في أن المادة الخضراء لا تقتصر أهميتها على امتصاص الطاقة الضوئية من ضوء الشمس ، بل أنها تتحد اتحاداً كيمياوياً مع حامض الكربونيك ثم تخرج من التفاعل بدون أن تتغير في تركيبها - شأنها في ذلك شأن العوامل المساعدة .. ويتم التفاعل في المراحل الآتية :


المرحلة الأولى : يتحد الماء بثاني أكسيد الكربون مكوناً حامض الكربونيك ، ثم يكون حامض الكربونيك مع المادة الخضراء مركباً إضافياً يسمى بحامض الكربونيك الكلوروفيل Chlorophyll - carbonic acid فإذا رمزنا للكلوروفيل بالرمز (س - مخ) فإننا نحصل على التفاعل الذي تمثله المعادلة الآتية :

س - مخ + بد_٣ ك_٢ ← بد . س - مخ - ا - ك_٢ 

المرحلة الثانية : وفيها يحدث تفاعل ضوئي كيمائى ويتحول المركب الناتج إلى مركب فوق أكسيد غير ثابت يحتوى على قدر كبير من الطاقة ، ويسمى فوق أكسيد فورمالدهيد الكلوروفيل :

بد . س - مخ - ا - ك_٢  ← بد . س - مخ - ا - ك_٢  في الضوء

المرحلة الثالثة : وفيها يتحلل هذا المركب (فوق الأكسيد) تحت تأثير العوامل البروتوبلازمية إلى الكلوروفيل والفورمالدهيد والأكسجين .

بد . س - مخ - ا - ك_٢  ← بد . س - مخ + بد ك_٢ ا + ا_٢

المرحلة الرابعة : وفيها يتكاثف ٣ جزيئات من الفورمالدهيد مكونة جزيء سكر هكسوز :

٦ بد ك_٢ ا ← ٦ بد_{١٢} ا_٦

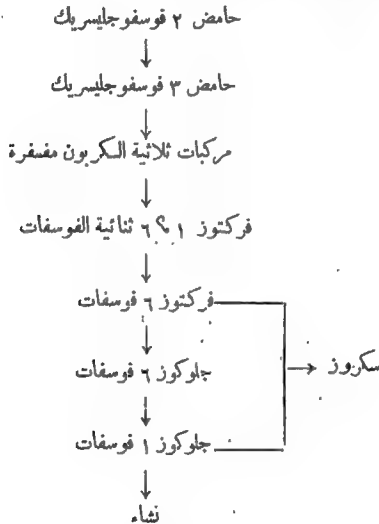
وَمَا تَجْدُرُ ملاحظته أن نظرية الفورمالدهيد - حتى بعد ادخال التعديلات عليها - قد فقدت أهميتها الآن بعد الأبحاث الحديثة التي أثبتت تكون حامض الفسفوجليسريك كناتج وسطي للعملية وليس الفورمالدهيد .

فمن التجارب العديدة الحديثة ما أجراه Calvin & Benson (١٩٤٩-١٩٥٤) حيث عرضا خلايا نبات أخضر للضوء في غياب ثاني أكسيد الكربون لمدة معينة ثم نقلت هذه الخلايا إلى الظلام في جو يحتوي على ثاني أكسيد الكربون فظهر أن هذه الخلايا قد ركبت من ثاني أكسيد الكربون والماء عدة مركبات عضوية تشبه المركبات التي ينتها نباتات المقارنة والتي كانت معرضة للضوء في وجود ثاني أكسيد الكربون . ومن هذه التجربة استنتج الباحثان أن المادة الخضراء في النبات يمكنها امتصاص الطاقة الضوئية التي تستعمل في تحليل الماء إلى عنصرية الايدروجين والاكسجين فينتطلق الاكسجين (سواء وجد ك H_2 أو لم يوجد) ، أما الايدروجين فيستقبله مركب غير معروف بالخلية ويظل محتفظاً بنشاطه في الظلام لمدة محدودة عقب فترة تعريض الخلايا الخضراء للضوء . وبناء على ذلك إذا أعطيت مثل هذه الخلايا ثاني أكسيد الكربون سواء في أثناء التعرض للضوء أو في فترة الظلام التي تعقب الإضاءة فإن الكلوروبلاستيدات تقوم باختزال ثاني أكسيد الكربون وادخاله في بناء الكربوهيدرات وغيرها من المواد العضوية .

وعندما أراد كلفن وبنسون معرفة المركب العضوى الوسطى في عملية بناء الكربوهيدرات عرضا خلايا النباتات الخضراء إلى الضوء لفترات متفاوتة في وجود ثاني أكسيد الكربون بحيث كان الكربون فيه من النوع النظير (Isotope) ك ^{14}C ثم حققا المركبات العضوية الناتجة من العملية ذات الكربون (^{14}C) المشع وقد ظهر لهما أن الخلايا الخضراء التي عرضت للضوء مدة دقيقة واحدة قد ركبت بها عدداً كبيراً من مواد عضوية كربوهيدراتية وأحماض أمينية أى أن عملية التركيب والبناء تمر بسرعة تفوق كل ما يعرفه الكيمائيون من تفاعلات كيميائية ، الأمر الذي دعا هذان الباحثان إلى تقصير مدة الإضاءة إلى خمس ثوان فقط وعند ذلك أمكنهما الحصول على

بعض النواتج العضوية الوسطية في التفاعل وظهر لها أن ٨٧ ٪ من الكربون المشع وجدت في مركب حامض الفوسفوجلوسريك ١٠٩ ٪ في حامض الفوسفويروفيك ٣٩ ٪ في حامض المالك. وعلى ذلك استنتج العالمان أن حامض الفوسفوجلوسريك هو الناتج العضوي الأساسي في عملية البناء الكربوايدراتي . وبناء على ذلك اقترح كلفن وبنسون سير العملية على النحو الآتي :

يتكون حامض ٢ فوسفوجلوسريك من اتحاد ١ مع مركب عضوي ثنائي الكربون مختزل بايدروجين الماء المتحلل في الضوء.



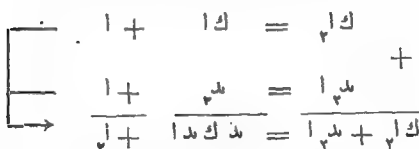
: ولهذا الكشف العلمي الحديث أهمية كبرى حيث أمكن بواسطته ربط عمليتي التنفس والبناء عن طريق هذا المركب الوسطي (حامض الفوسفوجلوسريك) كما أنه أيد أهمية عمليات الفسفرة في كافة التفاعلات الكيماوية بخلايا النبات .

مصدر الأكسجين الناتج من عملية البناء الكربوايدراتي :

يلاحظ أن الأبحاث الحديثة قد خطأت أيضاً مصدر الأكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي كما اقترح في النظريات القديمة السابق ذكرها . فقد كانت المعادلات القديمة تشير إلى أن الأكسجين الناتج من عملية البناء الكربوايدراتي يأتي من مصدرين هما :

الأول : لصف جزئ الأكسجين يأتي من ثاني أكسيد الكربون ،

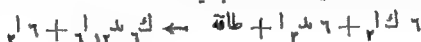
الثاني : النصف الثاني يأتي من الماء حسب المعادلة البيانية التالية :



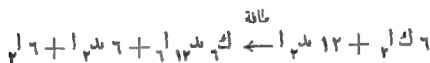
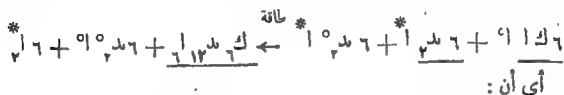
إلا أن التجارب الحديثة التي استعمل فيها الأكسجين الثقيل (^{18}O) أثبتت خطأ هذا الاعتقاد . ففي إحدى التجارب وضعت خلايا طحلب الكلوريل *Chlorell* في محلول بيكربونات الصوديوم العادية مذابة في ماء غني بالأكسجين الثقيل ، ثم سلط الضوء على هذه الخلايا وجمع الأكسجين الناتج فاثبت تحليله أنه من النوع الثقيل فدل ذلك دلالة واضحة على أن الأكسجين يأتي مباشرة من أكسجين الماء [من نتائج تجارب Kamen (١٩٤٧)] .

وفي تجربة أخرى كان فيها أكسجين الماء أكسجيناً عادياً بينما كان أكسجين ثاني أكسيد الكربون المستعمل من النوع الثقيل فظهر أن غاز الأكسجين الناتج كان كله من نوع الأكسجين العادي .

من هذه التجارب ومن تجارب أخرى كثيرة ثبت بصفة قاطعة أن المعادلة التقليدية التي كانت تمثل عملية البناء الكربوايدراتي :



لا يمكن أن تكون صحيحة ولا تمثل حقيقة التفاعلات التي تحدث أثناء العملية إذ من الواضح أنه لكي ينتج ستة جزيئات من الأكسجين من ماء التفاعل يلزم استخدام ١٢ جزء من الماء بدلا من الستة المستعملة في المعادلة القديمة . كما ظهر أيضاً أن الأكسجين الناتج من اختزال ثنائي أكسيد الكربون يتحد مع الايدروجين المتبقى من تحلل جزيئات الماء الستة التي زيدت . وبذلك تصبح المعادلة الصحيحة التي تمثل واقع التفاعل الكيماوى كالاتى :



معدل عملية البناء الضوئى :

من المعلوم أن النبات الأخضر يقوم باستخدام ثنائي أكسيد الكربون في عملية البناء الكربوايدراتى في الضوء وهو في نفس الوقت يهضم جزءاً من محتواه الكربوايدراتى في عملية التنفس ويخرج نتيجة ذلك غاز ثنائي أكسيد الكربون ، وهذا يستعمل بدوره في عملية البناء الضوئى . لذلك فإنه لتقدير معدل عملية البناء الضوئى الحقيقي يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار معدل التنفس بالإضافة إلى ما قد يستنفذه النبات الأخضر من ثنائي أكسيد الكربون الجوى . وبناء على ذلك يكون لدينا معدلان لعملية البناء الضوئى : الأول معدل البناء الظاهرى وهو الناتج الظاهر نتيجة لتبادل الغازات بين النبات والوسط المحيط به ، والثانى وهو معدل البناء الحقيقى وهذا يشمل الأول مضافا اليه معدل التنفس (عملية الهدم) .

طرق قياس معدل البناء الكربوايدراتى الظاهرى :

يمكن تقسيم الطرق التي تستعمل في قياس معدل البناء الكربوايدراتى إلى ثلاثة طرق هى :

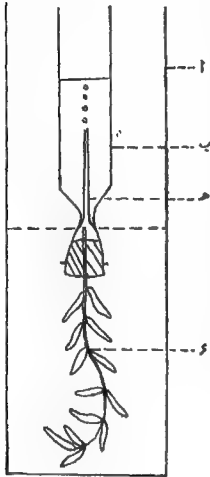
- (١) تقدير ك ا المستعمل .
- (٢) تقدير الأكسجين المنطلق .
- (٣) تقدير الزيادة في الوزن الجاف للنسيج النباتي .
- (١) تقدير ك ا المستعمل :

يستخدم في هذا التقدير الطريقة المعروفة بطريقة « التيار الهوائي المستمر » وتتلخص الطريقة في وضع الأطراف السفلى للنباتات المستعملة في الماء حتى لا تذبل ثم توضع في إناء محكم ويمرر على النباتات تيار هوائي يحتوى على نسبة معروفة من ك ا بعد أن تضاء النباتات ، ثم يمرر الهواء الناتج في أنابيب خاصة لامتصاص ك ا المتبقى . وبعد معرفة درجة تركيز ك ا المستعمل وكذلك حجمه فإنه يمكن إيجاد السمية التي استعملت منه .

(٢) تقدير ا المنطلق :

من المعروف أنه إذا وضعت سيقان بعض النباتات المائية كاللوديا في الماء الذي يحتوى على قليل من بيكربونات الصوديوم (مصدر لغاز ك ا) وعرضت لضوء الشمس أو لضوء صناعي فإنه يشاهد في الحال خروج فقاعات الغاز من أطراف الأفرع المقطوعة ويكون خروج هذه الفقاعات على شكل تيار مستمر . ومن الملاحظ أن فقاعات الغاز الأولى تكون عادة من الهواء الذي كان يملأ المسافات البينية وقد أخرج منها ليحل محله الأكسجين الناتج من عملية التمثيل الكربوني وبالتالي تزداد نسبة الأكسجين في فقاعات الغاز المنطلقة حتى تصبح كلها من الأكسجين الناتج من العملية . فإذا جمعت هذه الفقاعات واختبر هذا الغاز فإن الاختبار يدل على أنه غاز الأكسجين . وإذا عدت الفقاعات المتصاعدة في وحدة الزمن أمكن اتخاذ هذه الطريقة « طريقة عد الفقاعات » أساساً لقياس معدل البناء الضوئي . إلا أن الفقاعات المتصاعدة لا تكون في حجم واحد ولا تنطلق بسرعة واحدة نظراً لاختلاف قطر الساق المستعملة في النباتات المختلفة كما أن حجم الفقاعات يتأثر بدرجة كبيرة بالضغط الأزموزي والتوتر السطحي للمحلول الخارجي .

وقد قام Wilmott (١٩٢١) بإدخال تعديل على هذه الطريقة الغرض منه ضبط



(شكل ٢٢)

جهاز Wilmott لعد الفقاعات

(١) الوعاء الزجاجي المستعمل
في التجربة

(ب) كأس زجاجي مملوء بالماء
المقطر

(ج) أنبوبة الفقاعات

(د) النبات المائي المستعمل

حجم الفقاعات وإبعاد تأثير المحلول الخارجى عليها وذلك بأن نبت على السطح المقطوع من النبات أنبوبة زجاجية ذات نهاية مديية لتحديد حجم فقاعة الغاز مهما اختلف قطر الساق المستعملة ثم احاطة الطرف المدبب لهذه الأنبوبة بكأس زجاجية مملوء بالماء المقطر (شكل ٣٢) وقد نصح بأشباع الماء المحيط بالنبات بغاز الأكسجين قبل التجربة لمنع احتمال ذوبان أى جزء من الأكسجين المنطلق من العملية (٣) تقدير الزيادة في الوزن الجاف للنسيج النباتي:

هذه الطريقة مبنية على أن الوزن الجاف للنسيج النباتي الذي يقوم بعملية البناء الكربوهيدراتي يزداد نتيجة لتكوين بعض نواتج العملية وتراكمها والطريقة أن تؤخذ مساحات معينة ثابتة من الأوراق التي تركت معرضة لضوء الشمس على فترات زمنية مختلفة . وتقدر الزيادة في وزنها الجاف بالنسبة إلى وزنها الجاف الأصلي .

العوامل التي تؤثر في معدل عملية البناء

الكربوهيدراتي :

أولاً : العوامل الخارجية وتشمل :

(١) تركيز CO_2 (٢) شدة الإضاءة

(٣) درجة الحرارة (٤) الماء

(٥) نقص التغذية (٦) تأثير السموم والمخدرات

ثانياً : العوامل الداخلية وتشمل :

- (١) المحتوى الكلوروفيل للنسيج
(٢) العامل البروتوبلازمي
(٣) تراكم نواتج البناء الضوئي .

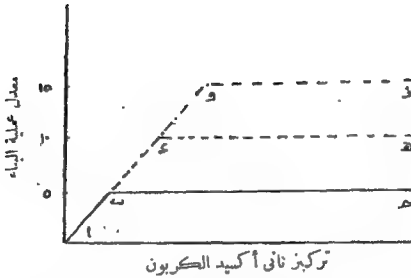
نظرية العوامل المحددة The theory of limiting Factors

في عام (١٩٠٥) وضع بلاكمان F. F. Blackman نظرية العوامل المحددة . ومؤدى هذه النظرية أنه عند دراسة ظاهرة من الظواهر أو عملية من العمليات كعملية البناء الضوئي والتي يؤثر فيها عوامل كثيرة لمعرفة مدى تأثير أحد هذه العوامل، فإنه يجب عدم إغفال العوامل الأخرى وإلا كانت النتائج غير صحيحة . وتنص نظرية العوامل المحددة على أن العملية التي ترتبط سرعة سيرها بعوامل أخرى متعددة، فإن سرعة العملية تتحدد بأبطأ هذه العوامل. والمثل الآتي يفسر هذه النظرية .

إذا أضيت ورقة نباتية إضاءة كافية لتحصل على الطاقة اللازمة لاستهلاك ٥ سم^٢ من ك ا في مدة ساعة ، واعطى للورقة ١ سم^٣ فقط من غاز ثاني أكسيد الكربون فإن الطاقة في هذه الحالة تكون أكثر من اللازم لاستهلاك ثاني أكسيد الكربون وبالمثل إذا زيد حجم الغاز إلى ٤ سم^٣ فإن الطاقة الضوئية لم تزل أكثر من اللازم لاستهلاك هذا الحجم من الغاز ويكون العامل المحدد حتى الآن في معدل العملية هو تركيز ك ا . فإذا زيد الغاز إلى ٥ سم^٣ فإن الطاقة الضوئية تكون كافية تماماً لاستهلاك ثاني أكسيد الكربون المستعمل .

فإذا زيد الغاز عن ٥ سم^٣ فإن معدل العملية لا يزداد لأن الضوء أصبح هو العامل المحدد الجديد لمعدل العملية ويمكن إظهار هذه العلاقة في المنحنى ١ ب ح من الزسم البياني التالي (شكل ٣٣) .

فإذا ما زادت شدة الإضاءة . فإن ذلك يساعد على استهلاك كمية أخرى من ك ا ويزداد تبعاً لذلك معدل عملية البناء الضوئي إلى أن يصبح الضوء هو العامل المحدد مرة أخرى كما يظهر ذلك من المنحنيين ١ و هـ ٦ و ز من نفس الشكل .



(شكل ٣٣) رسم بياني يوضح نظرية العوامل المحددة كما أوضحها بلاكان

من ذلك يتضح أنه عند دراسة تأثير تركيز ك_٢ في معدل عملية البناء الضوئي فإنه يجب وضع عامل الضوء موضع الاعتبار ، وبالتالي جميع العوامل الأخرى .

العوامل الخارجية :

(١) تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون حول النبات :

يوجد ثاني أكسيد الكربون في الهواء الجوي بتركيز ٠.٣ ٪ بالحجم وهذه النسبة الضئيلة كافية تماماً لعملية التمثيل الكربوني في جميع النباتات الخضراء . ورغم أنها المصدر الوحيد لاستهلاك هذه النباتات ، إلا أن نسبتها دائماً ثابتة لأنه يعوض دائماً بما ينتج منه من تنفس الكائنات الحية ، وما يخرج من فوهات البراكين ، ومن عمليات الاحتراق المختلفة ، ومن تحلل وتغفن المواد العضوية .

وتحصل النباتات المائية على ما يلزمها من هذا الغاز إما على صورة ذائبة في الماء أو من محلول بيكربونات الصوديوم أو البوتاسيوم .

وبزيادة تركيز ك_٢ حول النبات يزداد معدل عملية البناء الضوئي إلى أن يصل تركيزه إلى ١٥ ٪ - فإذا زاد التركيز عن هذه النسبة ، فإن معدل العملية يأخذ في التناقص نظراً إلى التأثير السام لهذه التركيزات العالية على البروتوبلازم .

(٢) شدة الإضاءة :

يزداد معدل عملية البناء الضوئي بازدياد شدة الإضاءة حتى إذا ما جاوزت الإضاءة ضوء الشمس ، تأثرت العملية وانخفض معدلها نظراً لما يباحق البروتوبلازم والمادة الخضراء من الضرر تحت تأثير الإضاءة الشديدة.

وقد ظهر من تجارب Ursprung (١٩١٧) أن الأوراق الخضراء لا تتحمل الإضاءة المستمرة . ففي إحدى التجارب عرضت أوراق نبات الفاصوليا لضوء الشمس مدة ٥ ساعات متوالية فزاد المحتوى النشوي للأوراق زيادة كبيرة ، ولكن عندما عرضت مدة ٩ ساعات قلت نسبة النشاء فيها كثيراً . ويظهر من ذلك أن استمرار تعريض الأوراق للضوء لفترات طويلة يعطل تكوين النشاء وقد يعمل على تحلل الموجود منه في الأوراق . وتعرف هذه الظاهرة بالتأثير الشمسي Solarization .

وتأثر نباتات الظل بشدة الإضاءة تأثيراً كبيراً . فمن الملاحظ فيها أن معدل عملية البناء الضوئي يزداد كلما زادت الإضاءة إلى أن تصبح ، من شدة إضاءة الشمس وبعد ذلك تأخذ في الانخفاض إذا زادت شدة الإضاءة عن هذا القدر .

والإضاءة المتقطعة تأثير كبير على معدل العملية. فقد أجرى Warburg (١٩١٩)، تجارب على هذا النوع من الإضاءة مستعملاً خلايا طحلب السكلوريلا واستخدم قرصاً معدنياً مثقبا يدور أمام مصدر ضوئي لإحداث هذه الإضاءة المتقطعة وقارن تأثير تعريض خلايا الطحلب لفترات ضوئية متساوية من إضاءة عادية وإضاءة متقطعة . فلاحظ أن معدل البناء عند استعمال الإضاءة المتقطعة كان أكبر كثيراً منه عند استعمال الإضاءة المستمرة وأن الفرق بين المعدلين يقل كثيراً كلما نقصت شدة الضوء المستعمل. وقد علل هذه الظاهرة أنه أثناء فترة الظلام، يستمر ثنائي أكسيد الكربون في الدخول ويتراكم داخل الخلية ، وفي نهاية فترة الظلام يكون قد تراكم منه كمية كبيرة ، وعند حلول فترة الإضاءة يزداد معدل العملية لزيادة تركيزه ، الأمر الذي لا يحدث في الإضاءة المستمرة نظراً لاستهلاكه أولاً بأول في العملية . .

إلا أن البحوث الحديثة قد أثبتت بصفة قاطعة أن خلايا النبات الأخضر تنفي المركبات العضوية من ك_{١٦} في أثناء تعرضها لفترتي الضوء والظلام المتعاقبتين في تجربة الإضاءة المتقطعة.

ولطول الموجة الضوئية تأثير كبير على معدل عملية البناء الضوئي . فقد وجد Warburg (١٩٢٣) و Stiles (١٩٢٥) أن العملية تبلغ أقصاها في الضوء الأحمر (وهو أطول أمواج الطيف المرئي) وتقل في الضوء الأزرق والبنفسجي (وهي أقصرها) بينما لا تسكاد تحدث في الضوء الأصفر ذي الموجة متوسطة الطول .

(٣) درجة الحرارة :

من المعروف أن رفع درجة الحرارة ١٠ درجات مئوية يزيد من سرعة التفاعل الكيماوى مرتين أو ثلاث مرات . أما التفاعلات الطبيعية فيزيد معدلها ١,٢ — ١,٣ مرة بينما يزداد معدل التفاعلات الضوئية ١,٤ مرة ، وقد لا تزداد عن الوحدة . وتسمى هذه العلاقة بالمعامل الحرارى . وحيث أن عملية البناء الضوئي عملية ضوئية فإنه من المنتظر أن تخضع لقوانين التفاعلات الضوئية . ولكن يؤخذ من النتائج التى أجراها F. F. Blackman (١٩٠٤ — ١٩٠٥ — ١٩١١) أنه المعامل الحرارى لبعض النباتات يتراوح بين ٢,٠٥ و ٢,٥٠ .

وقد فسر بلاكان هذه النتائج بأن افترض أن عملية البناء الضوئي لها طوران على الأقل . الطور الأول هو تفاعل ضوئي ويتضمن امتصاص الضوء ، والطور الثانى هو تفاعل كىماوى يحدث في الظلام . وقد أطلق على الطور الثانى « تفاعل الظلام » Dark reaction أو « تفاعل بلاكان » Blackman reaction نسبة إلى مكتشفه . فعندما تكون الاضاءة قليلة ومحددة للعملية فإن درجة الحرارة لا يكون لها تأثير على معدل عملية البناء الضوئي (لأن المعامل الحرارى للتفاعلات الضوئية هو ١ — ١,٤) . أما عندما تتوفر الاضاءة وثائق أكسيد الكربون . فإن درجة الحرارة تزيد من تفاعل الظلام وبذا يزداد المعامل الحرارى المميز للتفاعلات الكىماوية .

. ويجب أن يلاحظ أن زيادة تعريض النباتات لدرجات مرتفعة من الحرارة يؤدي حتماً إلى الإضرار بالبروتوبلازم وينخفض معدل عملية البناء الضوئي سريعاً .

(٤) الماء :

يدخل الماء في تكوين جزىء الكربوايدرات بانحاده مع ثاني أكسيد الكربون. وللباء فائدة أخرى غير مباشرة لأنه يعمل على امتلاء الخلايا فتظل الشغور مفتوحة ويدخل منها ثاني أكسيد الكربون وبذلك تستمر عملية التمثيل . وقد وجد Thoday (١٩١٠) أن هناك علاقة وثيقة بين معدل عملية البناء الضوئي ودرجة امتلاء الخلايا في أوراق نبات عباد الشمس .

والجدول التالي يبين هذه العلاقة :

معدل عملية البناء الضوئي بالمليجرامات للدسيمتر المربع في الساعة	حالة الأوراق
١٦,١	تمتلة
١٢,٤	تمتلة نوعاً
٨,٥	عادية
٥,٣	مائلة للإرتخاء
١,٦	مرتخية

وقد علل هذا النقص في معدل عملية البناء كلما نقص امتلاء خلايا الورقة بقفل ثغور الأوراق بدرجات متفاوتة تبعاً لدرجة امتلاء الخلايا بالماء .

(٥) نقص التغذية :

درس Briggs (١٩٢٢) تأثير نقص العناصر الغذائية على معدل عملية البناء الضوئي وأثبت أن معدل عملية البناء في نباتات الفاصوليا ناقصة التغذية كان أقل منه

في النباتات كاملة التغذية . وقد حصل كثيرون على نتائج مشابهة . Gregory and Richards (١٩٢٩) — Richards (١٩٣٢) — Gregory (١٩٣٧) .

(٦) تأثير السموم والمخدرات :

عند تعريض النباتات للبود السامة والمخدرة (كالأثير والكلوروفورم) بتركيزات ضئيلة ، فإن معدل عملية البناء الضوئي يقل ، ولكن عند ابعاد تأثيرها فإن عملية البناء تعود إلى حالتها الطبيعية . أما إذا عرضت النباتات لتركيزات شديدة ولو لفترة قصيرة فإن ذلك يؤدي إلى موت الخلايا النباتية فتقف عملية التمثيل تماماً ولا يمكن شفاؤها . وليس هناك أى دليل على أن للمخدرات والسموم مهما كان تركيزها ضئيلاً تأثير منشط على عملية البناء الضوئي .

العوامل الراحلية :

(١) المحتوى الكلوروفيلي للنسيج :

يعتبر الكلوروفيل من أهم العوامل التي تؤثر في معدل عملية البناء الضوئي ولا تتم هذه العملية إلا في الأجزاء الخضراء من النباتات . أما الأجزاء الخالية من الكلوروفيل فلا يمكنها أن تمثل وإن وجد بها بعض نواتج العملية إلا أن ذلك يرجع إلى انتقال نواتج العملية إليها لغرض التخزين كما في كثير من الجذور والسوق الدرنية كالبطاطا والبطاطس على الترتيب .

وليس من السهل دراسة هذا العامل كالعوامل الأخرى الخارجية ، لأنه من الممكن التحكم في العوامل الأخيرة : أما هذا العامل فليس من السهل التحكم فيه لوجود المادة الخضراء داخل خلايا الورقة إلا في بعض الحالات الخاصة التي تسكون فيها المادة الخضراء تدريجياً . فمثلاً إذا حفظت نباتات في الظلام مدة كافية فإن سيقانها تستطيل ويقل محتوى الخلايا من المادة الخضراء . فإذا عرضت هذه النباتات للضوء فإن المادة الخضراء تأخذ في الزيادة في الخلايا المعرضة للضوء تدريجياً . وعندئذ يمكن دراسة تأثير هذا العامل . فإذا كان تركيز الكلوروفيل هو العامل المحدد للعملية فإنه من

المتنطر زيادة معدل عملية البناء كلما زاد محتوى الخلايا من المادة الخضراء إلى أن يحدد العملية عامل آخر .

وقد درست Miss Irving (١٩١٠) هذه العلاقة على البادرات الخالية من المادة الخضراء نتيجة لبقائها في الظلام Etiolated seedlings للشعير والبقول ، ووجدت أن هذه البادرات ليست لها القدرة على البناء الضوئي حتى بعد تعريضها للضوء مدة كافية ليزداد محتواها الكلوروفيل . وقد عللت هذه النتائج بأن المادة الخضراء عند بدء تكوينها لا تكون العامل المحدد وإنما هناك عامل آخر هو الذي يحدد العملية ، وقد أطلقت على هذا العامل « العامل البروتوبلازمي » Protoplasmic factor وهذا الأخير لا يتم تكوينه إلا بعد تكوين الكلوروفيل . وعندئذ فقط تتناسب عملية البناء الضوئي طردياً مع تركيز المادة الخضراء .

ولنباتات الأرضية ذات الأوراق الملونة وكذلك الطحالب الحمراء والبنية القدرة على القيام بعملية البناء الضوئي نظراً لاحتوائها هي الأخرى على المادة الخضراء مستترة تحت الأصباغ الأخرى . فإذا أخذت القنابات الحمراء لنبات بنت القنصل Euphorbia بعد تعريضها للضوء مدة كافية ثم وضعت في ماء يغلي لبضع دقائق لقتل البروتوبلازم واستخلاص المادة الملونة الحمراء ، فإنك تلاحظ ظهور اللون الأخضر في الأوراق بعد إزالة الصبغة الحمراء . فإذا ما أجرى على الورقة اختبار النشاء باليود ، تلاحظ انصباعها باللون الأزرق دليلاً على أنها قامت بعملية البناء الضوئي .

(٢) العامل البروتوبلازمي :

سبق الإشارة إلى هذا العامل عند دراسة المحتوى الكلوروفيلي للنبات وليس من السهل معرفة أو دراسة هذا العامل ويرى Willstatter & Stoll أن هذا العامل ذو طبيعة أنزيمية .

(٣) تراكم نواتج عملية البناء الضوئي :

بناء على قانون فعل الكتلة ، فإن استمرار عملية البناء الضوئي لمدة طويلة يؤدي

إلى تراكم نواتج العملية في الخلايا المثلثة ويأتى الوقت الذى تقف فيه العملية تماماً رغم توفر جميع العوامل الأخرى ، وهذا هو الملاحظ دائماً في النباتات التى تخزن في أجزائها الخضرية نواتج عملية البناء الضوئى على هيئة سكريات كالقصب . فإن معدل عملية البناء بها تكون أقل من الأخرى التى تخزن هذه النواتج على شكل نشاء . ذلك لأنه في النوع الأخير من النباتات (معظم ذات الفلقتين) عندما يصل تركيز السكر بها درجة معينة فإنه يتكاثف إلى نشاء . وحيث أن هذا الأخير مركب غير ذائب . فإن نواتج عملية البناء الضوئى تبعد أول بأول من وسط التفاعل ويصبح تركيزها كسكريات قليلاً مما يؤدي إلى استمرار العملية الأمر الذى لا يحدث للنوع الأول من النباتات (معظم ذات الفلقة الواحدة) إذ ليس من المألوف تكوين النشاء في أوراقها .

نواتج عملية التمثيل الضوئى

كان Sachs (١٨٦٢) أول القائلين بأن النشاء هو الناتج الكربوايدراتى المباشر لعملية التمثيل الضوئى . وأنه عند تعريض النباتات للضوء فإنها تقوم باختزال ثاني أكسيد الكربون في الخلايا الخضراء وتنتج مادة عضوية هى النشاء . وأن النشاء هو نقطة البداية ومنه تتكون المواد العضوية الأخرى كالبروتينات والدهون بعد حدوث سلسلة من التفاعلات المختلفة .

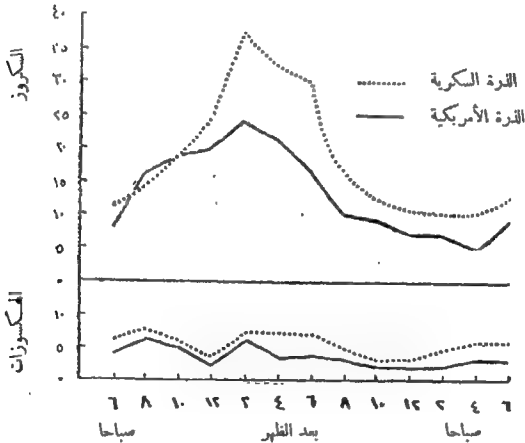
وفي عام (١٨٨٥) جمع Meyer أوراق النباتات المختلفة وأجرى عليها اختبار اليود لاختبار وجود النشاء ، فلاحظ أن نباتات ذات الفلقة الواحدة لا تتكون النشاء في أوراقها بينما احتوت أوراق نباتات ذات الفلقتين على كمية من النشاء نتيجة لعملية التمثيل الضوئى . وقد أوضحت هذه التجارب أن النشاء لا يمكن أن يكون الناتج الأول لعملية التمثيل الضوئى . وقد سميت الأوراق التى لا تتكون النشاء بالأوراق السكرية ، بينما سميت الأوراق التى تتكون النشاء بالأوراق النشوية .

وتحتوى أوراق النباتات على ثلاثة أنواع من السكريات هى سكر الجلوكوز

وسكر الفركتوز وهى سكريات أحادية (ك_٦ بد_{١٢} ١)، وسكر القصب وهو سكر ثنائى (ك_{١٢} بد_{٢٢} ١١).

وعندما حلت الأوراق النباتية أثناء عملية التمثيل فى ساعات للنهار المختلفة ، لوحظ أن محتواها من السكريات الأحادية يظل ثابتاً تقريباً طول ساعات النهار ، بينما يتغير محتواها من سكر القصب فيزداد تركيزه باطراد عملية التمثيل الضوئى (شكل ٣٤) .

وقد فسر البعض هذه النتائج بأن سكر القصب لا بد أن يكون الناتج الأول لعملية التمثيل الضوئى بدليل تغير تركيزه بتغير ساعات النهار ، ورأى آخرون أن الناتج الأول للعملية هو السكريات الأحادية . وأن تركيزها فى الأوراق يظل ثابتاً وأن الزائد



(شكل ٣٤)

التغيرات اليومية فى محتوى أوراق الذرة السكرية والذرة الشامية من المكسوزات والسكرز بالجرام لكل متر مسطح من الأوراق (عن Miller)

منها يبنى إلى سكر القصب ومن هنا جاءت الزيادة في هذا السكر باطراد عملية التمثيل الضوئي .

وليس من السهل إثبات أى السكريات تتكون في الأوراق نتيجة لعملية التمثيل الضوئي . وقد درست Mrs. Onslow (١٩٣١) كل ما يتصل من أبحاث في هذا الموضوع وخلصت إلى أن الناتج الأول لعملية التمثيل الضوئي ليس سكرأ أحادياً عادياً ، بل هو سكر أحادى من نوع الجاما (الفيورانوز Furanose) وهذا الأخير نشط جداً ومنه تتج السكريات الأحادية العادية والسكروز والنباء .

على أنه سبق الإشارة إلى الأبحاث الحديثة التي أجراها كلفن وبنسون (١٩٤٩ - ١٩٥٤) (ص ١٤٥) ، والتي أثبتت بصفة قاطعة أن أول سكر نقي يظهر نتيجة لعملية التمثيل الضوئي في خلايا النبات الأخضر هو سكر القصب (السكروز) ومنه ينتج سكرى الجلوكوز والفركتوز . وما يجدر الإشارة إليه هنا أن تكوين سكر القصب بالخلايا يسبقه ظهور مركبي فوسفات الجلوكوز وفوسفات الفركتوز : وعند تكاثف هذين المركبين ينتج سكر القصب وتنطلق الفوسفات لفسفرة مركبات أخرى بالخلية .

السكريات الأهادية :

أهم ما يوجد من هذه السكريات في الخلية النباتية هو سكر الجلوكوز وسكر الفركتوز وسكر المانوز وسكر الجليكتوز (ك١ بد١١٢١) . والسكران الآخرين (المانوز والجليكتوز) لا يوجدان على حالة مفردة في الخلايا النباتية ولكنهما يدخلان في تركيب مركبات كربوايدراتية معقدة مثل الهيمسليولوز والبكتينات وغيرها . ويحتوى جزء هذه السكريات على ٦ ذرات من الكربون أحدها الدهيدية (ك١ بد١) وتوجد في سكر الجلوكوز والمانوز والجليكتوز ، أو تكون كيتونية (ك=١) وتوجد في سكر الفركتوز . هذه المجموعات الدهيدية والكيتونية نشطة جداً وهي التي تسبب اختزال هذه السكريات لمحول فهلنج وتكوين الأوزونات . ونظراً

لاحتواء هذه السكويات على المجموعات السجولية . فإن لها القدرة على الاتحاد والتكاثف لتكون سكريات ثنائية وثلاثية وعديدة التسكر .
وفيما يلي بيان الفرق في تركيب كل جزء من هذه السكريات الأحادية المختلفة :

المانوز	الجلوكوز
أ د — ك	أ د — ك
د — ك — أ د	د ا — ك — د
د — ك — أ د	د — ك — ا د
د ا — ك — د	د ا — ك — د
د ا — ك — د	د ا — ك — د
د ا د — ك	د ا د — ك

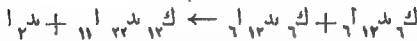
الفركتوز	الجلكتوز
د ا د — ك	أ د — ك
أ = ك	د ا — ك — د
د — ك — أ د	د — ك — ا د
د ا — ك — د	د — ك — ا د
د ا — ك — د	د ا — ك — د
د ا د — ك	د ا د — ك

من هذه التركيبات يلاحظ أن الفرق بين السكريات الألدهيدية (الجلوكوز ، المانوز والجلكتوز) إنما هو نتيجة وضع مجموعات الأيدروكسيل والأيدروجين على الأسطح المختلفة بالنسبة للكربون في الجزيء .

السكريات الثنائية :

تتكون السكريات الثنائية نتيجة لاتحاد جزيئين من السكريات الاحادية سواء كان الاتحاد بين جزيئين من نوع واحد أو من نوعين مختلفين . ويحدث الاتحاد بمساعدة أنزيم خاص مع استخلاص جزيء من الماء :

أنزيم



فيتتكون سكر القصب باتحاد جزيء من الجلوكوز مع جزيء من الفركتوز عن طريق المجموعة الألدهيدية في جزيء الجلوكوز والمجموعة الكيتونية في جزيء الفركتوز لذلك كان هذا السكر غير مختزل .

أما جزيء سكر الشعير (المولتوز) فيتتكون باتحاد جزيئين من سكر الجلوكوز عن طريق المجموعة الألدهيدية في أحدهما ومجموعة هيدروكسيلية في الجزيء الآخر وعلى ذلك تبقى المجموعة الأخرى الألدهيدية في الجزيء الثاني حرة ، وهذا هو السبب في أن سكر الشعير من السكريات المختزلة . وليس من الثابت وجود سكر الشعير بحالة حرة في الخلية النباتية ، ولكن بما لا شك فيه أن وجوده ضروري كخطوة وسطية بين الجلوكوز والنشاء .

السكريات الثموية :

أهمها سكر الرافينوز . ويكثر في بذور القطن والشعير والبنجر . وينتج من تركائب ثلاثة سكريات أحادية هي الجلكتوز والجلوكوز والفركتوز باستخلاص جزيئين من الماء .

أنزيم

ك_١ ١٢٣ + ك_٢ ١٢٣ + ك_٣ ١٢٣ ← ك_٤ ١٢٣ + ٢ بد_١ + ١ بد_٢
وهذا السكر غير مختزل نظراً لاشتراك المجموعات الألدهيدية والبكتونية فيه عمليات التكاثف.

السكريات عديدة الفسكر :

النشاء : وهو أكثر المركبات الكربوهيدراتية شيوعاً في النباتات. ويوجد في كثير من الحبوب والبقول والجذور والسوق الدرنية. وهو على العموم يكثر فيه أما كن الادخار.

ويخزن النشاء عادة في البلاستيدات عديمة اللون. ويبدأ بالظهور في فجوة البلاستيدة على شكل نواة صغيرة تعرف بالمرقة Hilum ثم يترام على هذه السرة طبقات متتابعة من النشاء تزداد في السمك فضغط على جدار البلاستيدة الذي يتمدد ليساير الزيادة في حجم حبيبة النشاء ويظل مغلفاً لها.

وتبدأ عملية بناء النشاء من تكاثف جزئين من سكر الجلوكوز مكوناً سكر المالتوز الذي يتكاثف ليكون سلسلة متشعبة عديدة التسكر هي النشاء. كل شعبة مكونة من ٢٥ — ٣٠ جزء من الألفا جلوكوز متصلة ببعضها بنفس النظام الذي تتحد به في سكر المالتوز أى أن المجموعة الألدهيدية (رقم ١) في جزء جلوكوز متحدة بالمجموعة الهيدروكسيلية (رقم ٤) في جزء الجلوكوز الآخر وهكذا.

السليولوز : يتكون جزء السليولوز من تكاثف عدد كبير من جزيئات البيتاجلوكوز يفوق كثيراً العدد الذي يشترك في تكوين جزء النشاء. ويعتبر سكر السلوبايوز (ك_١ ١٢٣ بد_١ ١١) هو الناتج الوسطى بين جزيئات البيتاجلوكوز وجزء السليولوز. وتصل ببعضها بالوضع (١ — ٤) السابق الإشارة إليه.

والسليولوز من النواتج الهامة لعملية التمثيل الضوئي. إذ منه يتكون هيكل النبات. وتتكون شعرة القطن من السليولوز النقي. وقد يوجد مختلطاً بمادة اللجنين في أوعية الخشب.

وجدير بالذكر هنا أن الهيمسليولوز الذي يكثر وجوده في جنين الترمس والبن والبلح كغذاء مدخر لا علاقة له بالسليولوز إذ أن تركيبهما مختلف تمام الاختلاف .

نكوبين النشاء :

رأينا سابقاً أن الناتج الأول لعملية التمثيل الضوئي هو نوع من السكريات ، وأن النشاء يتكون كناتج ثانوي للعملية . ويتحول السكر إلى نشاء أو العكس داخل خلايا النباتات بسرعة كبيرة .

في عام (١٨٨٥) قام Meyer بتغذية بعض الأوراق بمحاليل سكرية مختلفة ثم اختبر للنشاء بعد مدة من الزمن ، فلاحظ أن الأوراق التي غذيت بمحلولي سكر القصب احتوت على نسبة من النشاء أعلا من تلك التي غذيت بمحلول سكر الجلوكوز . وقد أيدت التجارب التي تلتها نتائج « ماير » ، مع أنه كان من المنتظر أن تبنى الأوراق المغذاة بسكر الجلوكوز كمية أكبر من النشاء حيث أن جزيئته يتكون من الجلوكوز .

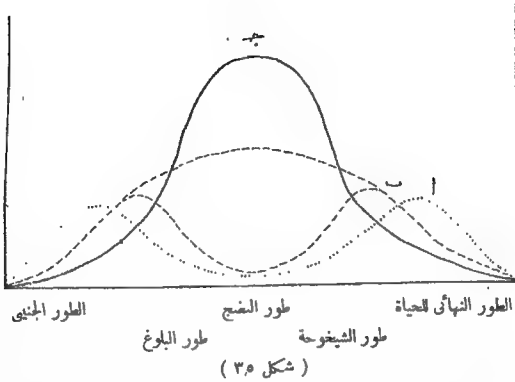
وفي عام (١٨٩٨) أعاد Winkler تجارب « ماير » مستعملاً أوراق نباتية مختلفة في محاليل مختلفة التركيز من سكر القصب . وأظهرت نتائجه أن لسكل نوع من النباتات ما يسمى بالتركيز الحرج Critical concentration عندما يبلغه النبات يبدأ في تكوين النشاء من السكريات الزائدة . ففي الأوراق النشوية (معظم أوراق ذات الفلقتين) يكون هذا التركيز الحرج منخفضاً جداً لذلك فإنها تبنى النشاء بعد فترة قصيرة من ابتداء عملية التمثيل الضوئي . وقد وجد أن التركيز الحرج لأوراق الجارونيا هو ٢ — ٥ ٪ من السكر . أما أوراق نباتات الفلقة الواحدة (الأوراق السكرية) فيظهر أن تركيزها الحرج بعيد جداً ولا تبلغه تحت الظروف العادية ولذلك لا تبنى النشاء نتيجة لعملية التمثيل الضوئي . فعندما غذيت أوراق الياسنت بمحلول سكري تركيزه ١٥ ٪ وأوراق قصب السكر بمحلول سكري تركيزه ١٨ ٪ تمكنت من بناء النشاء في خلاياها .

وقد أوضح Lundegardh (١٩١٣) أن الأوراق تأخذ في بناء النشاء في خلاياها

إذا زاد تركيز المحلول السكرى عن التركيز الخارج ، ويستمر البناء بزيادة التركيز إلى أن يصل تركيز المحلول ٢٠ ٪ تقريباً وعنده لا يزيد معدل البناء . فإذا زيد التركيز إلى ٤٠ ٪ فإن عملية بناء النشاء لا تتوقف فحسب بل إن النشاء الموجود فى الأوراق يأخذ فى التحلل إلى سكريات . ويرجع ذلك إلى أن تركيز ٤٠ ٪ يسبب بلزمة خلايا الأوراق ويقل محتواها المائى فيتحلل النشاء إلى سكر . وما يؤيد صحة ذلك التعليل تلك التجارب التى قام بها Wolff (١٩٢٦) عندما جفف شرائح رقيقة من البطاطس تجفيفاً صناعياً فلاحظ لزيادة محتواها السكرى (خصوصاً من سكر النصب) زيادة كبيرة صحبها نقص فى محتواها النشوى . وقد استخدمت هذه الطريقة فى المانيا لتحضير السكر من النشاء .

ولدرجة الحرارة تأثير كبير على بناء النشاء ، فقد وجد Barker (١٩٣٣) أنه عند تعريض درنات البطاطس إلى درجة ١ — ٢٠° م لمدة من الزمن فإن محتواها السكرى يزداد زيادة كبيرة على حساب نقص المحتوى النشوى للدرنات . فإذا ما رفعت درجة حرارة هذه الدرنات السكرية إلى درجة ١٥° م تحول السكر سريعاً إلى نشاء وزاد المحتوى النشوى للدرنات . وأنه من المشاهدات المعروفة أن أوراق النباتات دائمة الإخضرار تحتوى على نسبة عالية من السكريات ونسبة منخفضة من النشاء فى فصل الشتاء بينما يشاهد العكس فى فصل الصيف .

ولعلم النبات أو العضو النباتى علاقة وثيقة بمحتوى العضو من النشاء والسكريات . وقد قام F.F. Blackman بجمع نتائج الباحثين فى هذا الموضوع ولاحظ أنه يوجد فى جميع نتائجهم تشابه كبير من حيث المحتوى النشوى والسكرى للأعضاء النباتية فى أطوار النمو المختلفة . وعلى ضوء هذه النتائج قام هذا العالم بعمل الرسم البيانى (شكل ٣٥) الذى يوضح العلاقة بين الهكسوزات والسكريات والنشاء فى أطوار النمو المختلفة للنبات أو العضو النباتى . ومنه يتضح أن الهكسوزات يكثر وجودها فى الطور الجنينى وكذلك فى الطور الذى يسبق الطور النهائى للحياة . وفى طورى البلوغ والشيخوخة يكثر وجود السكريات . أما فى طور النضج فإن النشاء يتراكم على حساب السكريات الذائبة فى النباتات التى تنبى النشاء .



المحتوى السكرى والنشوى في الاعضاء النباتية في أطوار النمو المختلفة كما يراه F.F. Blackman

١ - الهكسوزات ب - السكروز ج - النشاء

أما إذا كانت النباتات من النوع الذى لا يبنى النشاء ، فإن السكروز هو الذى يزداد تركيزه في طور النضج . وقد أثبت التجارب التى أجراها د ندا وحجازى ، (١٩٥٢) وجود هذه العلاقة فيما يختص بنمو ونضج ثمار الكثرى .

المواد الملونة في النباتات :

تنقسم المواد الملونة التى توجد في النباتات إلى قسمين رئيسيين :

القسم الأول : مواد ملونة تذوب في المذيبات العضوية مثل كحول الايثانيل

وكحول الميثانيل والاسيتون والآنير وأنير البترول والبزين والكلوروفورم .

القسم الثانى : مواد ملونة تذوب في الماء .

المواد الملونة التى تذوب في المذيبات العضوية :

أهم هذه المواد الملونة ما يوجد في الأوراق الخضراء وتنقسم هذه المواد إلى قسمين :

(١) المواد الملونة الخضراء وهى : كلوروفيل ا (ك ه ه د ه ا ه ن م غ) ٦

كلوروفيل ب (ك.ه. يد. ١٦٠ ن. مغ) وهي التي تكسب الأوراق والأجزاء الخضراء لونها الأخضر.

(٢) المواد الملونة البرتقالية والصفراء وهي : الكاروتين (ك.ه. يد. ١٦٠) والزانثوفيل (ك.ه. يد. ١٦٠) وتوجد مخفية تحت المواد الملونة الخضراء.

ويدخل تحت المواد الملونة البرتقالية والصفراء طائفة كبيرة من المواد الملونة تعرف بالكاروتينات Carotinoids وهي التي تكسب بعض الأزهار والثمار ألوانها الزاهية ومن أمثلتها :

١ — الكابستين Capsanthin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد في ثمار الفلفل الحراء.

٢ — الكابسورubin Capsorubin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد أيضاً في ثمار الفلفل الحراء.

٣ — الزياكستين Zeaxanthin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد في حبوب الذرة الصفراء.

٤ — الكربتوزانثين Cryptoxanthin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد في ثمار الفلفل الحراء.

٥ — الكاروتين Carotin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد في بتلات الأزهار الصفراء وبعض الثمار.

٦ — الزانثوفيل Xanthophyll (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد في بتلات الأزهار الصفراء وبعض الثمار.

٧ — البكسين Bixin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد في ثمرة نبات البكسا وتحضر منه مادة ملونة تستعمل في تلوين الزيت.

٨ — الأوريلين Orelin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد أيضاً في ثمرة البكسا.

٩ — اللايكوبرسين Lycopersin ويكسب ثمرة الطماطم لونها الأحمر.

١٠ — الفيوكوسانثين Fucoxanthin (ك.ه. يد. ١٦٠) ويوجد في الطحالب البنية. وغير ذلك من الكاروتينات الكثيرة التي لا يتسع المقام لسردها.

وهناك مواد ملونة أخرى غير كاروتينية ولكنها تنوب في المذيبات العضوية

ومن أمثلتها مادة الكركومين Curcumin (ك ٣٣ بد ٢٠) وتوجد في ريزومات الكركم وتكسبها اللون الأصفر المعروف .

ولا تتكون المادة الخضراء في النباتات إلا بمساعدة الضوء . وقد أثبت Eyster (١٩٢٨) أن الكلوروفيل يتكون في مرحلتين : المرحلة الأولى وتتكون فيها مادة البروتوكلوروفيل Protochlorophyll وتتكون في الظلام . أما المرحلة الثانية ففيها يحول البروتوكلوروفيل إلى الكلوروفيل Chlorophyll

وبزيادة شدة الإضاءة يزداد تركيز الكلوروفيل في الأوراق إلى درجة معينة فإذا زادت شدة الإضاءة عن ذلك قلت درجة تركيزه في الأوراق . وتتمايز نباتات الظل بكبر بلاستيدياتها الخضراء عن نباتات الشمس وبقلة تركيز الكلوروفيل بها .

وإذا لحص محلول الكلوروفيل بواسطة الامبيكتروسكوب ظهر أنه يمتص الضوء الأحمر بدرجة كبيرة ثم يلي منطقة الامتصاص الحمراء أربع مناطق امتصاص تأخذ في القلة في الضوء الأصفر والأخضر ، ويعقب ذلك منطقة امتصاص كبيرة نوفا في منطقة اللون الأزرق تليها نقطة امتصاص كبرى في اللون الأزرق النيلي .

ويمكن فصل الصبغات الأربع المستخلصة من الورقة الخضراء باستعمال عمود الكروماتوجرام . وهو عمود من الزجاج مملوء بمسحوق ناعم من كربونات الكالسيوم أو أكسيد الألومنيوم أو غير ذلك من المواد التي تصلح لهذا الغرض . فإذا صب المستخلص الصبغات في البنزين أو أثير البترول فوق عمود الكروماتوجرام ثم سحب المستخلص من أسفل الأنبوبة الزجاجية فإن الصبغات الأربع تتجمع تجمعا سطحيا على جزيئات المادة المستعملة في طبقات متتابعة منفصلة عن بعضها تماما . فإذا كشطت كل طبقة منها على حدة واستعمل المذيب المناسب حصلنا على الصبغات الأربع كل على حدة . ويمكن فصل الصبغات عن بعضها باستعمال المذيبات العضوية المختلفة وهذه الطريقة مبنية على اختلاف خواص الصبغات في درجة ذوبانها في المذيب العضوى الواحد . فمثلا يذوب الزانثوفيل بدرجة أكبر من الأصباغ الأخرى في كحول الميثايل ، ويميل الكاروتين للذوبان بدرجة كبيرة في أثير البترول . أما الصبغات الخضراء

(الكلوروفيلات) فلا تذوب في أثير البترول إلا إذا احتوى على كمية ولو قليلة من الأسيتون . وبناء على هذه الخواص أمكن فصل كل منها على حدة .

المواد الملونة التي تذوب في الماء :

وتشمل عدداً كبيراً من المواد الملونة أهمها :

١ - الفلافون والفلافونول Flavones and flavonols وتسمى بالمواد الملونة البيضاء وتوجد في جميع أجزاء النبات ويمكن الكشف عنها في بتلات الأزهار البيضاء وتتميز بتفاعلها مع القلويات فتعطى اللون الأصفر .

٢ - الانثوسيانين Anthocyanins وهي مجموعة من المواد الملونة توجد في جذور البنجر وأوراقه وتكسبها لونها الأحمر المعروف وتوجد في جذور الجزر الأحمر وفي بتلات كثير من الأزهار مثل زهرة الكرديه والفريزيا - (تستعمل بتلات الكرديه في تحضير شراب الكرديه المعروف وتكسبه صبغة الانثوسيانين لونه الأحمر المميز) .

ويتميز الانثوسيانين بتفاعله مع القلويات معطياً لوناً بنفسجياً ومع الأحماض لوناً أحمر زاهياً .

ثانياً: بناء المواد البروتينية Protein synthesis

قدما أن الأزوت من أهم العناصر الغذائية التي يحتاج إليها النبات . فهو يدخل في تركيب المادة الخضراء والمادة البروتوبلازمية والبروتينات والأحماض الأمينية .

وبناء المواد الأزوتية في النبات ليس من الموضوعات السهلة ، إذ ليس من السهل الحصول على المواد البروتينية بحالة نقية في النبات كما هو الحال في المواد الكربوايدراتية ، فهي ليست ثابتة ولكنها تتغير دائماً من حالة إلى أخرى الأمر الذي يجعل دراستها من الأمور الشاقة . إلا أن كثرة تحولاتها وعدم ثباتها يكون في مصلحة الكائن الحي فهو يؤدي إلى التغير الدائم في خلاياه . وهذه ظاهرة الحياة .

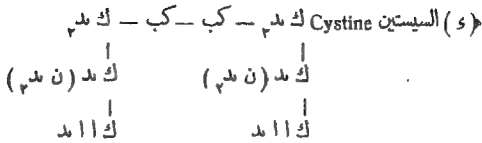
ووسائل التحليل الكيماوى التى وصل إليها العلم حتى الآن ليست كافية لدراسة المادة البروتينية معقدة التركيب . وليس أمامنا إلا أن نكون صورة ما عن تركيبها بدراسة ناتجيات عملية انحلالها .

فعند معاملة المادة البروتينية بالأحماض القوية فإنها تتحلل فى النهاية إلى خليط من الأحماض الأمينية ، ويسبق تكوين الأحماض الأمينية انحلال المادة البروتينية إلى عدد من النواتج الوسيطة كالبيتونات وعديد الببتيد وثنائى الببتيد وأخيراً الأحماض الأمينية .

وعدد الأحماض الأمينية المعروفة حتى الآن حوالى ٢٥ حامضاً ، وتكون الأحجار الأساسية التى يبنى منها جزيء البروتين المعقد . وليس من الضرورى وجودها كلها فى جميع أنواع البروتينات . وتمتاز الأحماض الأمينية باحتوائها على شقين أحدهما حامضى والآخر قاعدى . أى أن الحامض الأمينى يسلك مسلك الأحماض والقلويات إذ يحتوى كل حامض أمينى على مجموعة واحدة أو أكثر كربوكسيلية (— ك ا ا د) ومجموعة واحدة أو أكثر من المجموعات الأمينية (— ن د هـ) وأهم الأحماض الأمينية ما يأتى :

أولاً : الأحماض الأمينية الأليفاتية Aliphatic amino - acids

- ١ — الجلايسين Glycine كد_٢ (ن د_٢) . ك ا ا د
- ب — الألانين Alanine كد_٣ . كد (ن د_٢) . ك ا ا د
- ح — الاسبرتيك Aspartic acid كد_٤ ك ا ا د
- د — الجلوتاميك Glutamic acid كد_٥ كد (ن د_٢) . ك ا ا د
- هـ — اللايسين Lysine كد_٦ (ن د_٢) . كد_٤ . كد_٣ . كد_٢ . كد (ن د_٢) . ك ا ا د



ثانياً : الأحماض الأمينية العطرية Aromatic amino-acids

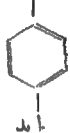
(١) الفينيل الانين Phenylalanine ك مد . ك مد (ن مد) . ك ا ا مد



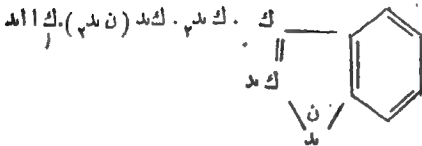
(ح) هستيدين Histidine

(ب) التيروسين Tyrosine

ك مد . ك مد (ن مد) . ك ا ا مد = ك مد . ك مد (ن مد) . ك ا ا مد



(و) التربتوفان Tryptophan



تقسيم البروتينات:

تنقسم البروتينات الى الاقسام الرئيسية الآتية :

(١) البروتينات البسيطة Simple proteins

يشمل هذا القسم البروتينات ذات الأوزان الجزيئية العالية . وأهمها الألبومين

والجلوبيولين والجلوتين والبرولامين . وتختلف هذه البروتينات عن بعضها في قابليتها للنوبان وفي خواصها . فمثلا يذوب السيومن البيض والخضروات بسهولة في الماء بينما لا يذوب الجلوبيولين إلا في محاليل أملاح الأحماض والقلويات القوية مثل محلول كلورور الصوديوم . ويذوب الجلوتين في الأحماض والقلويات الضعيفة . أما البرولامين فإنه لا يذوب إلا في محلول ٧٠ — ٨٠ ٪ من الكحول .

(٢) البروتينات التزاوجية Conjugated proteins

تختلف بروتينات هذا القسم عن البروتينات البسيطة في أنها تكون متحدة بمركبات أخرى غير بروتينية . وأهم بروتينات هذا القسم هي البروتينات النووية التي تكون أكثر المادة الكروماتينية في النواة . وتتكون البروتينات النووية بانحد جزيئين من البروتين بالحامض النووي ويتكون الحامض النووي من حامض الفسفوريك وسكر البنتوز ومركب أزوتي .

(٣) البروتينات المحولة Derived proteins

تتكون هذه البروتينات نتيجة لإحداث تحورات في جزيئات البروتينات الأخرى بمعاملتها بالأحماض أو القلويات أو الحرارة أو الأنزيمات فتتج مواد تقع وسطاً بين جزيء البروتين المعقد والأحماض الأمينية ومنها الببتونات والببتيدات .

مصادر الأزوت للنبات :

تحصل جميع النباتات الخضراء الراقية - إذا استثنينا النباتات البقولية - على ما تحتاجه من الأزوت من التربة على شكل أملاح غير عضوية من النشادر والأزوتات تضاف إلى التربة على شكل أملاح سمادية ، أو تنتج من تحلل المواد العضوية التي تضاف للتربة على صورة أسمدة عضوية كالسماد البلدي وزرق الطيور والدم المجفف وغيرها بما يتحلل في التربة بواسطة أنواع خاصة من البكتريا والفطر إلى مركبات أزوتية بسيطة يمتصها النبات كالنشادر والأزوتات .

وقد يتبادر إلى الذهن أن إضافة الأملاح النشادرية إلى التربة كصدر للأزوت

للنبات يفضل إضافة أملاح الأزوتات نظراً لأن الأزوت في الأحماض الأمينية يوجد على حالة — ن مد، والواقع أن الأمر غير ذلك دائماً فقد أثبتت التجارب أن الأزوتات لا تقل فائدة في استعمالها عن الأملاح النشادرية — بل أن النبات يفضل الأزوتات خصوصاً في فترة الازهار . ويعتقد علام والهنيدى (١٩٤٩) أن أملاح النشادر إذا أضيفت إلى التربة فإنها سرعان ما تتأكسد إلى أملاح الأزوتات بفعل بعض أنواع البكتريا .

وتمتص النباتات الأملاح الأزوتية غير العضوية التي توجد في التربة مهما كان تركيزها ضئيلاً بسرعة كبيرة وتراكم هذه الأملاح الممتصة في خلاياها حتى تصل إلى تركيزات عالية بالنسبة لتركيزها في التربة .

والتهوية أثر كبير في معدل امتصاص أيونات الأزوت والنشادر بواسطة جذور النباتات . ففي إحدى التجارب امتصت النباتات المزروعة في مزرعة جيدة التهوية ٦٠ ٪ من أيونات ن مد، ن ٣ أكثر من نظيرتها غير المهواة .

ولاستعمال الأملاح الغذائية الأزوتية أثر كبير على درجة حموضة التربة . فإذا استعملت أزوتات الصوديوم مثلاً في التسميد فإن النباتات تمتص أيون الأزوتات ن ٣ وتترك كميات كبيرة من أيون الصوديوم في التربة (لأن الصوديوم ليس من العناصر التي يستعملها النبات بكميات كبيرة) ونتيجة تراكم أيونات الصوديوم ، وبتكرار استعمالها في سنوات متعاقبة يزداد تركيز أيون الصوديوم في الأرض مما يؤدي إلى قلايتها وتلف خواصها الطبيعية والكيمائية والحيوية . وليس الأمر قاصراً على تلف هذه الخواص فقط بل أن كثيراً من العناصر الضرورية تصبح في حالة غير ذائبة وغير ميسورة للنباتات مثل الفوسفات والحديد . ولا يخفى ما لهذه العناصر من قيمة في تغذية النبات (راجع تغذية النبات) وحيث أن التربة المصرية تقاسى من القلوية (pH ٨ أو أكثر في بعض الحالات) فإنه لا ينصح بتاتاً باستخدام هذا الملح السام في تسميد أراضيها .

أما عند استعمال كبريتات النشادر (ن مد،) ٣ ك ب ١ فإن النباتات تمتص أيون

النشادر بمعدل أكبر من امتصاصها لأيون الكبريتات الذى يتخلف أكثره فى التربة . ونظراً لأن هذا الأيون حامضى التأثير فإنه يفضل استعماله فى أراضينا المصرية ذات القلوية العالية ليعادل جزءاً من قلويتها وتحسن خواصها العامة وتصبح المركبات الغذائية غير الذائبة بحالة ذائبة وميسورة للنبات .

وإذا استعملت أزوتات النشادر فى التسميد (ن دى) ن ا^١ فإن النباتات تمتص كاتيونات وأنيونات هذا الملح بدرجة واحدة لأن كلا منهما مصدر أزوتى للنبات فلا يبقى منه شيء يؤثر على خواص التربة العامة .

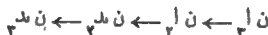
وعند استعمال أزوتات الجير فإن جذور النباتات تمتص أيون الأزوتات بمعدل أكبر من أيون الكالسيوم . ولو أن أيون الكالسيوم قلوئى التأثير ، إلا أنه يحسن من صفات الأرض الطبيعية لأنه يسبب تجمع جزيئات التربة فيسهل تبادل الغازات وحركة المياه وتصبح حسنة التهوية والصرف .

مراحل عملية بناء المواد الأزوتية فى النبات :

تمتص النباتات المركبات الأزوتية من التربة وتبنى منها المواد الأزوتية فى خلاياها بمساعدة المركبات الكربوإيدراتية الناتجة من عملية التمثيل الضوئى أو مشتقاتها . وتحدث عملية البناء على مراحل متتالية نلخصها فى الخطوات الآتية :

(١) اختزال النترات :

تدل نتائج الأبحاث التى عملت فى هذا الموضوع أن النترات الممتصة تسلك فى النبات عكس مسلك عملية التآزت التى تحدث فى التربة وبمعنى آخر فإنها تختزل إلى أزوتيت ثم إلى أملاح النشادر قبل أن تتحد مع الأحماض العضوية لتكون الأحماض الأمينية :



وقد أثبتت نتائج التجارب التى قام بها كثير من العلماء على أن القمم النامية

لنبات الأسبرجس لها القدرة على تمثيل الأزوتات وإن كانت هذه الأزوتات لا تصل إليها بجذورها غير المختزلة ، لأن اختزالها يتم في جذيراتها وقبل أن تصل إلى أعضاء النبات . ولكن في درجة حرارة ١٠° يمكن الكشف عن وجود الأزوتات إلى مسافات بعيدة في النبات وذلك لأن هذه الدرجة المنخفضة من الحرارة تبطل من عملية اختزال الأزوتات فتقتل بجذورها في أجزاء النبات المختلفة .

وتحتاج عملية اختزال النترات إلى الطاقة في كل خطوة من خطواتها . وقد كان من المعتقد أن عملية بناء المواد الأزوتية لا يحدث إلا في الضوء لأنه لوحظ سرعة اختفاء الأزوتات في النباتات المعرضة للضوء بالنسبة للنباتات المحفوظة في الظلام وأن الطاقة الضوئية تستعمل في عملية الاختزال . إلا أن الأبحاث الحديثة تدل على أن عملية الاختزال تحدث في الضوء أو الظلام على حد سواء بشرط توفر المادة الكربوهيدراتية في أنسجة النبات . ففي إحدى التجارب لوحظ انخفاض المحتوى الكربوهيدراتي للنباتات أثناء عملية بناء المواد الأزوتية في الضوء أو في الظلام فدل ذلك على أن الضوء ليس ضرورياً لإتمام العملية وإنما يكون تأثيره غير مباشر لأنه يعمل على توفير المادة الكربوهيدراتية لإتمام هذه العملية . وفي تجربة أخرى حفظت بعض النباتات في الظلام وغذيت بمحاليل سكرية إلى جانب غذائها الأزوتي فزاد محتواها البروتيني .

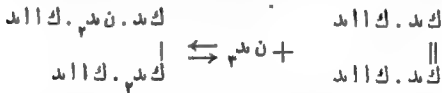
وقد أوضح Hamner (١٩٢٦) أن عملية اختزال النترات في نباتات الطماطم والقمح في الظلام كانت مصحوبة بزيادة في معدل التنفس وأن هذه الزيادة في معدل التنفس لم تحدث مع امتصاص النترات بل مع اختزالها ومع عملية بناء الأحماض الأمينية ، وأن الطاقة التي لزمّت هذه العمليات استمدتها النبات من الطاقة الناتجة من عملية التنفس . وقد قدر أن ٣٠ ٪ من طاقة التنفس تكفي لعملية الاختزال وأن الكمية الباقية من الطاقة تستغل في عمليات البناء الأخرى . وقد شبه Meyerhof الطاقة المستخدمة في اختزال النترات في أنسجة النبات والمتولدة من عملية التنفس (حرق المواد الكربوهيدراتية) بتفاعل مسحوق البارود عند إشعاله ، لأن الكربون

في هذا التفاعل يتأكسد غلي حساب اختزال النترات . وبناء على هذا التشبيه فإن النترات لا يمكن أن تمثل في جسم النبات إلا إذا وجدت كمية كافية من الكربوايدرات . فإذا منعت المادة الكربوايدراتية فإن النترات تتراكم في أنسجة النبات .

(٣) تكوين الأحماض الأمينية :

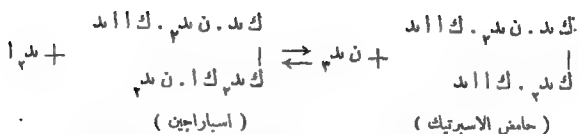
يتكون الحامض الأميني من اتحاد النشادر الناتج من عملية اختزال النترات مع بعض مشتقات نواتج عملية التمثيل الضوئي . وأبسط الأحماض الأمينية المعروفة هو حامض الجللايسين Glycine وينتج من استبدال ذرة من الأيدروجين في مجموعة الميثايل (ك د هـ) لحامض الخليك بمجموعة أمين (ن د هـ)

ويوجد حامض الخليك في الخلايا نتيجة لعمليات التحول الغذائي ويكون الهيكل الكربوني لهذا الحامض الأميني أي أنه لا بد لكل حامض أميني من حامض عضوي يتحد مع مجموعة أمينية ليتكون هذا الحامض الأميني . فمثلا يتكون حامض الاسبرتيك . Aspartic acid من اتحاد حامض الفيوماريك Fumaric acid مع ن د هـ



ويساعد هذا التفاعل أنزيم الاسبرتيز Aspartase . وقد سبق ذكر الانزيمات المسماة بالانزيمات ناقلة مجموعة الأمين التي تساعد على تكوين بعض الأحماض الأمينية الهامة في خلايا النبات والحيوان .

هذا وقد دلت نتائج الأبحاث على وجود مادة الاسباراجين (وهي أميد الاسبرتيك) في خلايا النبات وذلك في حالة وجود النشادر بكثرة مع قلة المواد الكربوايدراتية . والمعادلة الآتية تبين تحول الاسباراجين إلى حامض الاسبرتيك والعكس بواسطة أنزيم الاسباراجينيز Asparaginase .



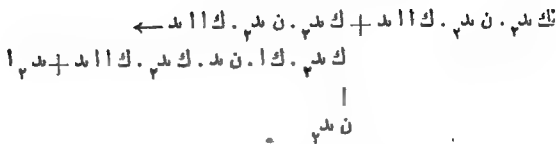
وقد وضعت نظريتان لتفسير وجود الاسباراجين في أنسجة النباتات :

النظرية الأولى : وهي تفترض أن الاسباراجين ينتج من انحلال البروتين ويظن أنه المادة الأزوتية القابلة للانتقال في خلايا النباتات نظراً لقابليته للذوبان ، وأنه ينتقل إلى مناطق النشاط المرستيمي حيث يتحد مع المواد السكرية (كالجلكوز) لينتج أنواعاً أخرى من البروتينات اللازمة للنمو .

والنظرية الثانية : وهي تفترض أن الاسباراجين لا ينتج نتيجة لانحلال البروتين بل أنه ينتج نتيجة لانحلال الأحماض الأمينية إلى الحامض العضوي وبمجموعة النشادر فيتحد حامض أميني آخر بالنشادر المنفردة مكوناً الأميد . وهنا يلعب الأميد دوراً هاماً وهو الاتحاد مع النشادر فلا يترك بحالة حرة تضر بحيوية الخلايا .

(٣) تكوين البروتينات :

إذا عوملت الأحماض الأمينية بحامض الأزوتوز فإن الأزوت الداخل في تركيب الحامض الأميني يتفرد (ويستعمل هذا التفاعل في تقدير كمية الأحماض الأمينية الحرة في الأنسجة النباتية والحيوانية) . أما إذا عومل البروتين بهذه المعاملة فإن كمية الأزوت المنفردة تكون قليلة جداً مما دعى Emil Fischer إلى الاعتقاد بأن الأحماض الأمينية التي تكون الجزئ البروتيني لا بد أن تكون مرتبطة ببعضها . فترتبط المجموعة الأمينية في أحد الأحماض بالمجموعة الكربوكسيلية في الحامض الأميني الآخر . وعلى ذلك يخرج جزئ من الماء نتيجة لاتحاد جزئين من الأحماض الأمينية برابطة ببتيدية (ن د — ك ا) . ويسمى المركب الناتج من اتحاد حامضين أمينيين « ثنائي الببتيد » Dipeptide كما يحدث عند تكاثف جزئين من الحامض الأميني « الجلايسين » .



(جلايين) + (جلايين) ← (ثنائي الببتيد) + (ماء)

فإذا اتحدت ثلاثة أحماض أمينية بنفس الطريقة (لأن هذا المركب ثنائي الببتيد لا يزال يحتوى على مجموعة أمينية وأخرى كربوكسيلية) برابطة ببتيدية أخرى تكون مركب جديد هو ثلاثي الببتيد Tripeptide وهكذا يمكن للأحماض الأمينية أن تتكاثف مع بعضها مكونة عديد الببتيد Polypeptide وقد تمكن « فيشر » من تحضير مركب عديد الببتيد مكون من ١٨ حامض أميني . وعندما عامل هذا المركب بالإنزيمات البروتيو ليتية انحل إلى مكوناته من الأحماض الأمينية .

وكان الاعتقاد السائد إلى عهد قريب أن الأحماض الأمينية تتشابه مع بعضها في شكل سلسلة لتكون جزيء البروتين ، إلا أن الآراء الحديثة لا تميل إلى الأخذ بأن هذا هو الوضع الوحيد لترتيب الأحماض الأمينية في جزيء البروتين ، بل ترى أن التركيب الحلقي أيضاً هو أحد الأنظمة التي تتحد بها جزيئات الأحماض الأمينية في جزيء البروتين .

ومنذ عام (١٨٨٨) أثبت Schimper أن المحتوي البروتيني للأوراق يزيد أثناء إنباتها ويتناقص ليلاً مع زيادة في محتوى الأوراق من الأزوتات ، وقد علقت هذه الظاهرة بأن البروتين دائم الانحلال في الليل والنهار ولكن ذلك الانحلال لا يظهر في النهار لأن معدل البناء البروتيني في النهار يكون أكبر من معدل انحلاله .

وفي عام (١٩٣٨) أوضح Pearsall & Billimoria أن الأوراق الحديثة التكوين هي الوحيدة التي لها القدرة على البناء البروتيني من المركبات الأزوتية الذائبة ويتضح من هذا الرأي أن الأوراق البالغة تفقد قدرتها على البناء البروتيني بينما ينحل جزئياً بروتين الأوراق المسنة .

ويبدو من كثير من الشواهد والأدلة على أن الرأي الأول (القديم) هو الأصح فقد تمكن سعيد (١٩٣٧) من جعل خلايا الجزر البالغة تبنى البروتين في خلاياها بهيئة جميع العوامل المؤدية للبناء البروتيني ، وهذا ما لا شك فيه يرجح كفة الرأي القديم .

تثبيت الآزوت الجوي :

تحتوى التربة على كثير من أنواع البكتريا يقوم بعضها بتثبيت الآزوت الجوى في صورة مركبات آزوتية عضوية تستعملها النباتات في بناء مركباتها الآزوتية ، وقد عرف منذ القدم أن هناك نوع خاص من البكتريا يسمى بكتريا العقد الجذرية *Nodule bacteria (Bacillus radiclecola)* تعيش في التربة وفي جذور النباتات البقولية معيشة تكافلية فستمد البكتريا من النبات البقولى ما يلزمها من الماء والأملاح والمواد الكربوهيدراتية وتمدها في مقابل ذلك بالمركبات الآزوتية التى يمكنها أن تحصل عليها من الآزوت الجوى (شكل ٣٦) .



(شكل ٣٦)

جذر نبات بقولى تعيش عليه
بكتريا العقد الجذرية

وقد عرف الزراع منذ القدم أن زراعة محصول من محاصيل الحبوب بعد محصول بقولى يزيد كثيراً في غلة الأول . وقد أصبح من المعروف الآن أن البكتريا علاوة على ما تمد به النبات البقولى أثناء حياته من المركبات الآزوتية فإنها تفرز في التربة مقادير كبيرة منها تفيد المحاصيل التالية .

وعلاوة على ذلك فإن التربة تحتوى على أنواع أخرى من البكتريا الرمية التى تقوم بتثبيت الآزوت الجوى بمعمل عن النباتات

المزرعة . وقد عرف أخيراً أن هناك أنواع من الفطريات والطحالب تشارك أيضاً في تثبيت الأزوت . وأهم أنواع البكتريا الرمية ما يأتي :

١ — بكتريا كلوستريديوم باستوريانم *Clostridium pasteurienum* وهي بكتريا غير هوائية تثبت الأزوت الجوى بمعزل عن الأكسجين وتكثر في الأراضي سيئة التهوية . ويظن أن طريقة عمل هذه البكتريا أنها تقوم بامتصاص الأزوت الجوى وتعمل على تحليل المواد السكرية وابدائية الموجودة في التربة من المتخلفات العضوية إلى الأحماض العضوية ، ثم تقوم بتركيب الأزوت الجوى مع الهيدروجين مكونة النشادر وتعمل على اتحادها بالأحماض العضوية فتنتج الأحماض الأمينية والمركبات الأزوتية التي يتمصها النبات ويركبها في جسمه مركبات أزوتية .

أما إذا توفر الأكسجين في التربة فإن هذه البكتريا تفف عن العمل إلا إذا شاركها نوع آخر من البكتريا الهوائية التي تستعمل الأكسجين وبذا تتوفر الظروف للبكتريا غير الهوائية فتقوم بتثبيت الأزوت الجوى . وهذه البكتريا الهوائية هي :

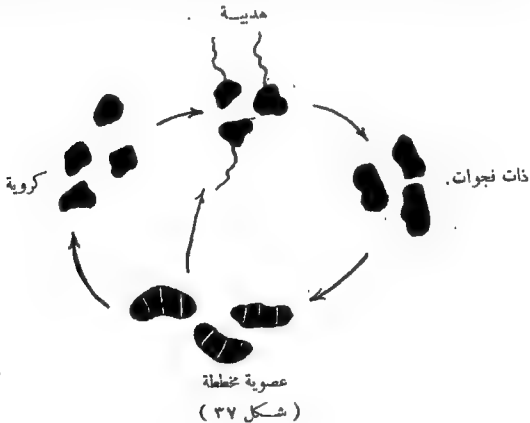
٢ — بكتريا الأزوتوباكتر *Azotobacter* وهي بكتريا هوائية ، تقوم بتثبيت الأزوت الجوى في وجود الأكسجين وتحصل على قدر كبير من الطاقة نتيجة لأكسدة المركبات السكرية وابدائية أكسدة هوائية . وعلى ذلك فإن لهذا النوع من البكتريا القدرة على تثبيت كمية أكبر بكثير من الأزوت الجوى عن البكتريا السابقة .

البكتريا العفيرة والنباتات البقولية :

أوضح Thornton (١٩٣٣) عند دراسته علاقة البكتريا العفيرة بعائلها البقول أن إصابة البكتريا لجذور العائل بزيادة واضحة عند بدء تكوين الأوراق الحقيقية للنبات . ففي هذه الفترة من حياة العائل تفرز الشعيرات الجذرية مادة يظهر أنها تسبب تكاثر البكتريا في التربة ، وتفرز البكتريا بدورها مادة تسبب نمو الشعيرة الجذرية والتواها فتدخل البكتريا الشعيرة من منطقة الالتواء لأنها أضعف

نقطة في الشعيرة . وعند إضافة النترات الى التربة فإنها توقف عمل إفراز البكتيريا فلا تلتوى الشعيرة ولا تتمكن البكتيريا من دخولها . ويمكن إرجاع الحالة الى ما كانت عليه إذا أضيف قليلا من السكر . ويظهر أن نسبة الكربون إلى الأزوت تؤثر في عملية تثبيت الأزوت .

ولبعض العناصر تأثير كبير على تكاثر البكتيريا وتكوين العقد الجذرية . فمثلا عند غياب عنصر البورون ينخفض معدل تكوين العقد انخفاضاً كبيراً وتعجز البكتيريا عن تثبيت الأزوت بالمقدر المعتاد . ويظهر أن للكبريت نفس تأثير البورون . وعندما تدخل البكتيريا من الشعيرة الجذرية فإنها تأخذ طريقها إلى الداخل في خلايا القشرة حيث تتكاثر في آخر طبقاتها من الداخل ، وفي هذه الأثناء تفرز مادة هرمونية تعرف بالهتيرو أوكسين Hetero - auxin فتسبب تضخم الخلايا المصابة وتنتشر هذه المادة إلى خلايا البريسكيل المجاورة لخلايا القشرة فتنبه الخلايا وتبدأ الجذور الثانوية في التكوين . ونظراً لأن تركيز هذه المادة الهرمونية يكون كبيراً ،



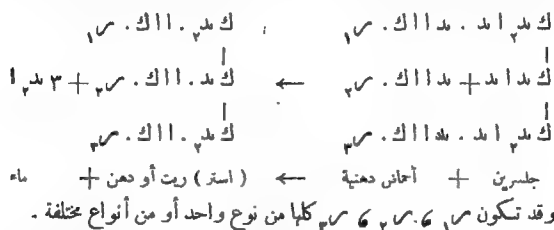
دورة حياة بكتريا العقد الجذرية

فإنه يوقف ويعطل نمو الجذر الثانوى وبدلاً من ذلك تنمو خلاياه وتنقسم مكونة كتلة غير منتظمة من الخلايا البرانشيمية هي العقدة الجذرية وما هي في الواقع إلا جذراً ثانوياً وقف نموه وتكوينه .

وأثناء إصابة البكتريا لجذر النبات البقولى فإنها تمر في دورة حياة خاصة . فقد أوضح Hutchinson (١٩٢٠) أن البكتريا تكون في أول الأمر ذات شكل كروى غير متحرك في هذا الطور من أطوار حياتها ثم تتضخم في الحجم وتكون لها أهداب عند اختراقها للشعيرة الجذرية ثم تفقد أهدابها وتأخذ الشكل العصوى وتكون بها الفجوات عندما تصل إلى منطقة القشرة ، وأخيراً تصبح مخططة عندما تكون العقدة البكتيرية (شكل ٣٧) .

ثالثاً : بناء المواد الدهنية Fat synthesis

تكون الدهون والزيوت الغذاء المدخر في كثير من البنود والثمار كبذور القطن والكتان والخرع والسسم والبقول السوداء وثمار اللوز والبنديق والزيتون وجوز الهند . وهي من الوجبة السكياوية تتكون من تكافؤ أحد الكحولات العالية (الجلسرين) مع ثلاثة من الأحماض الدهنية لتكون استرات الأحماض المقابلة .



ومعظم المركبات الدهنية التي توجد في النباتات من نوع الزيوت السائلة . والفرق في التركيب السكياوى بين الدهون والزيوت يتوقف على درجة تشبعها والأوزان الجزيئية للأحماض الدهنية الداخلة في تركيبها . فتحوى الزيوت على نسبة عالية من

الاحماض الدهنية غير المشبعة ذات الأوزان الجزيئية العالية بينما تحتوى الدهون على نسبة عالية من الاحماض الدهنية المشبعة ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة نسبياً .

وللأحماض الدهنية المشبعة الرمز الكيماوى العام (كـ نـ مـ + ١ كـ ا ا د) فمثلاً

الرمز الكيماوى لحمض اللوريك كـ ١١ مـ ٣٣ . كـ ا ا د

٦ الرمز الكيماوى لحمض البالستيك كـ ١٥ مـ ٣١ . كـ ا ا د

٦ الرمز الكيماوى لحمض الاستياريك كـ ١٧ مـ ٣٥ . كـ ا ا د

أما الأحماض الدهنية غير المشبعة فإنها تحتوى على رابطة واحدة أو رابطتين أو ثلاثة روابط وهى لذلك تنقسم إلى ثلاثة أقسام :

١ - أحماض دهنية رمزها العام (كـ نـ مـ - ١ كـ ا ا د) ومن أمثلتها حامض الأولييك ورمزه الكيماوى كـ ١٧ مـ ٣٣ . كـ ا ا د

٢ - أحماض دهنية رمزها (العام كـ نـ مـ - ٣ كـ ا ا د) ومن أمثلتها حامض اللينولييك ورمزه الكيماوى كـ ١٧ مـ ٣١ . كـ ا ا د

٣ - أحماض دهنية رمزها (العام كـ نـ مـ - ٥ كـ ا ا د) ومن أمثلتها حامض اللينولييك ورمزه الكيماوى كـ ١٧ مـ ٣٩ . كـ ا ا د

ويندر أن توجد هذه الزيوت أو الدهون فى النباتات بصورة نقية بل إنها توجد غالباً بحالة مختلطة ويتوقف قوامها العام على نسبة الدهن أو الزيت فيها .

والزيوت والدهون مواد غير قابلة للذوبان فى الماء . وهى قليلة الذوبان فى الكحول ولكنها تذوب تماماً فى الأثير والكلوروفورم ، ويستعمل الأول فى استخلاصها وتقديرها فى النبات ..

وتتحلل الزيوت والدهون بواسطة أنزيم اللايباز Lipase والاحماض المعدنية ، ونظراً لأن الزيوت مواد غير مشبعة فإنها تتحد باليود بواسطة روابطها غير المشبعة ويستعمل ما يسمى بالرقم اليودى Iodine number فى تقدير درجة تشبعها يعرف بكية اليود بالجرام التى تمتصها ١٠٠ جم من الزيت . كما أن لها القدرة على .

امتصاص الأكسجين بواسطة روابطها غير المشبعة وتصلب وتجف . وكلما زادت درجة عدم تشبع الزيت زادت سرعته في الجفاف لذلك يستعمل زيت الكتان (وهو من أقل الزيوت المعروفة تشبعاً) في عمل البويات والورنيشات بينما تستعمل الزيوت الأكثر تشبعاً في الأغراض الغذائية كزيت الزيتون وزيت بذرة القطن وزيت السمسم وزيت الفول السوداني .

وهناك مواد شبه دهنية تدخل في تركيب الخلايا النباتية ولكنها لا تكون غذاءاً مدخراً وتعرف هذه المواد بالليبيدات Lipoids ومن أمثلتها الليسيثين Licithin وهي تشابه في تركيبها الزيوت والدهون إلا أنها تختلف عنها في أنها تحتوي على حامضين دهنيين فقط متصلين بمجموعتي الأيدروكسيل للجزء الجلسرين ، أما مجموعة الأيدروكسيل الثالثة فإنها تكون متكاثفة مع حامض الفوسفوريك . وعلى ذلك فإن أنزيم اللايبين لا يكفي وحده لتحليل الليبيدات إذ يلزم أيضاً أنزيم الفوسفاتيز ليفصل حامض الفوسفوريك من الجلسرين . وتذوب الليبيدات في جميع المذيبات العضوية التي تذيب الدهون والزيوت إلا الاستون الذي يستعمل لفصلها من الدهون والزيوت عند تقديرها .

وتدخل الليبيدات في تركيب الجدار البروتوبلازمي للخلية النباتية وتنظم حفاظة الخلية .

عموم المواد الدهنية بالمواد الكربوهيدراتية :

تدل الأبحاث التي أجريت على أن المواد الدهنية تبقى في الأماكن التي توجد بها في البنور أو الثمار ولا تنتقل في جسم النبات كما هو الحال في الكربوهيدرات . وجميع الأبحاث التي عملت في هذا الصدد لم تعرض إلى طريقة صنعها بل تعرضت فقط إلى المواد التي تصنع منها .

ففي عام (١٨٩٦ - ١٨٩٧) أجرى Du Sablon مجلة تحاليل ثمرة اللوز في مراحل نموها المختلفة وأثبت أنه أثناء نضج الثمرة يزداد محتواها من المواد الدهنية وينقص محتواها الكربوهيدراتي . والجدول التالي يبين نتائج هذه التحاليل .

التاريخ	الدهن %	السكروز %	الجلوكوز %	النشاء %
٩ يونيو	٢	٦,٧	٦,٠	٢١,٦
٤ يوليو	١٠	٤,٩	٤,٢	١٤,١
١ أغسطس	٣٧	٢,٨	٠,٠	٦,٢
١ سبتمبر	٤٤	٢,٦	٠,٠	٥,٤
٤ أكتوبر	٤٦	٢,٥	٠,٠	٥,٣

وقد حصل Valée (١٩٠٣) و Lavanov (١٩١٢) على نتائج مشابهة .
وعلى ذلك فهناك أدلة كافية على أن المواد الكربوهيدراتية هي أسلاف أو أصول
المواد الدهنية في النبات .

وهناك دليل آخر يؤيد هذه النظرية وهو أنه عند إنبات البذور الدهنية فإن
نسبة المواد الدهنية فيها تأخذ في النقص بينما تزداد نسبة المواد الكربوهيدراتية .
فمثلاً عند إنبات بذور عباد الشمس التي تحتوى قبل الإنبات على ٥٥,٣٪ دهناً وعلى
٣,٨٪ سكرًا فإن محتواها من المواد الدهنية ينخفض إلى ٢١,٨٪ ويزداد محتواها
بمحتواها السكرى إلى ١٣,١٪ ويستعمل النبات هذه السكريات الناتجة في بناء هيكله
السليلوزى ، وبحرقه مع بعض الدهن تنتج الطاقة اللازمة في عمليات التحول الغذائى
والنمو .

وتتماز المواد الدهنية التي يدخرها النبات عن المواد الغذائية الأخرى المدخرة
بأنها سائلة فهي بذلك تملأ الفراغات الداخلية في الخلايا فلا تبقى فراغات بدون فائدة .
وهي علاوة على ذلك تنتج عند حرقها كمية كبيرة من الطاقة إذا قورنت بالمواد
الأخرى الكربوهيدراتية أو الأزوتية وذلك لأنها فقيرة في محتواها الأكسجينى .
فمثلاً ينتج من حرق جرام واحد من الدهن ٩,٣ سعراً . أما جرام البروتين فيعطى
عند حرقه ٧ سعراً ويعطى جرام المادة الكربوهيدراتية ٤ سعراً ..

وحيث أن نسبة الأكسجين إلى الكربون في المواد الدهنية أقل منها في المواد الكربوهيدراتية فإن تحول الكربوهيدرات إلى دهون يكون مصحوباً بإنتاج الأكسجين الذي يستعمله النبات في عملية التنفس ، فينخفض معدل ما يمتصه النبات من الأكسجين الجوي، وعلى ذلك فإنه ينتظر أن يكون معامل التنفس $(\frac{1}{2})$ أكثر من الوحدة وهذا ما لاحظته Gerber (١٨٩٧) عندما عين معامل التنفس لثمار الزيتون وبنور زيت الخروج أثناء نضجها .



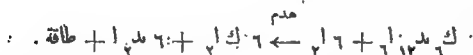
الفصل الثاني

الهدم Katabolism

الهدم هو القسم الثاني من عمليات التحول الغذائي وفيه - كما هو واضح من تسميته - تهدم بعض المواد التي سبق بناؤها في النبات .

وقد رأينا في عمليات البناء المختلفة التي تحدث في النبات، أن النبات يبني هذه المواد من مواد خام بسيطة . فهي مثلاً في الكربوهيدرات عبارة عن ثاني أكسيد الكربون والماء . وفي البروتينات، الأملاح الإزوتية بعد اختزالها ثم اتحادها مع أحد الهياكل الكربونية الناتجة من تحول بعض المركبات الكربوهيدراتية أثناء عمليات التحول الغذائي (الأحماض العضوية) . وقد رأينا أيضاً أن بناء هذه المواد المختلفة لا يمكن أن يحدث بدون الطاقة ، وأن هذه الطاقة - مهما كان مصدرها - تخزن في جزيئات المواد التي بنيت . وعلى ذلك فإنه عند الهدم تنحل هذه المركبات إلى مركبات وسطية أو إلى نواتجها الأولية حسب طريقة الهدم والغرض منها . فإذا كان الهدم كلياً فإنك تحصل على المواد الخام الأصلية التي استعملت في البناء . وهذا يدعى لأنك إذا هدمت شيئاً فإنك لا تحصل إلا على ما استعمل في بناء هذا الشيء . فمثلاً عند هدم جزيء

سكر الجلوكوز هدمًا تامًا فإن حاصل الهدم يكون ثاني أكسيد الكربون والماء والطاقة التي استعملت وادخرت في البناء :



وظاهر من هذه المعادلة أنها عكس معادلة البناء السابق ذكرها في عملية البناء الضوئي . ولا يلجأ النبات إلى الهدم لمجرد الهدم ، ولكن للاستفادة من نواتجه . فثلا تستخدم الطاقة الناتجة في بعض التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل الخلية . ويستخدم جانب آخر من الطاقة في الحركة . فالبكتريا مثلا يلزمها لكي تتحرك أن تبذل الطاقة ويلزم للنبات لكي يدفع بجذره إلى أسفل بين جيبات التربة التي تقاومه أن يبذل الطاقة ، كما أنه يبذلها لكي يخرج فلقاته من تحت سطح الأرض ليخرج من بين ثياها الريشة وهكذا .

أما أهم نواحي بذل الطاقة فهو استخدامها ثانية في البناء ، وكما رأينا في بناء المواد الأروتية أن الطاقة التي يستخدمها النبات في هذا السبيل إنما يحصل عليها من هدم بعض المواد الكربوهيدراتية أو مشتقاتها وكذلك الحال في بناء المواد الدهنية ، إذ أن هاتان العمليتان لا تستعمل فيهما الطاقة الشمسية بصفة مباشرة . ويعتبر التنفس في النباتات مثلاً واضحاً من أمثلة الهدم .

التنفس Respiration

التنفس عملية تحدث في الخلايا الحية للنبات أو الحيوان على السواء . وفي كلتا الحالتين يحصل الكائن الحي على الأكسجين الجوي ويؤكسده به بعض المواد الغذائية المدخلة في جسمه ، فتتحلل هذه المواد الغذائية إلى مكوناتها الأصلية أو إلى مركبات وسطية وتنطلق الطاقة . لذلك فإن التنفس يصحبه نقص في الوزن الجاف . والواقع أن عملية التنفس هي عملية احتراق أو أكسدة بطيئة . فإليك إذا أحرقت قطعة من السكر أو السليولوز (وهما مادتان كربوهيدراتيتان) فإنك تستعمل

الأكسجين الجوي في أكسديتها أو احراقهما وتنطلق الطاقة ويصحب ذلك تحلل المادة إلى مكوناتها الأصلية وهي ثاني أكسيد الكربون والماء .

وترجع معلوماتنا عن التنفس إلى عام (١٧٧٧) عندما أوضح Scheele أن البنور النباتية تمتص الأكسجين وتطلق ك_٢ كما أثبت Ingen - Housz أن النباتات تخرج ثاني أكسيد الكربون في الظلام .

ويعتبر De Saussure (١٧٩٧) أول من درس التنفس دراسة كمية وأثبت أن حجم ك_٢ المنطلق من عملية التنفس يساوى حجم ل_٢ المتص . كما أظهر أن الانبات والنمو يتوقفان على درجة امداد النبات بغاز الأكسجين . وفي عام (١٨٢٢) أوضح أن درجة حرارة الأزهار ترتفع عندما تمتص الأكسجين لتنفسها .

لم يتقدم البحث في موضوع التنفس بعد هذا التاريخ لمدة ٤٠ سنة نتيجة للخطأين موضوعي التنفس والتمثيل ، إلى أن أوضح Sachs (١٨٦٥) أن عملية التنفس تحدث ليلاً ونهاراً في كل الخلايا الحية وأنها تختلف اختلافاً تاماً عن عملية التمثيل التي لا تحدث إلا في الخلايا الحية الخضراء وفي ضوء الشمس .

أنواع التنفس :

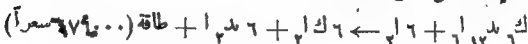
هناك ثلاثة أنواع من التنفس تحدث في خلايا النباتات الحية وهي :

١ - التنفس الهوائى ٢ - التنفس اللاهوائى ٣ - التنفس الخاص بالبكتريا

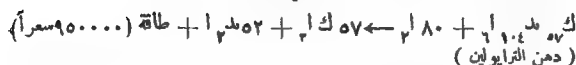
أولاً: التنفس الهوائى Aerobic respiration

وهو أكثر أنواع التنفس شيوعاً وفيه ينطلق قدر كبير من الطاقة نتيجة لأكسدة بعض المواد العضوية كالكربوهيدرات والدهون والبروتينات بواسطة أكسجين الهواء الجوى .

فعندما تتأكسد المادة الكربوهيدراتية أكسدة تامة، كأن يتأكسد سكر الجلوكوز مثلاً، فإن التفاعل تصوره المعادلة :

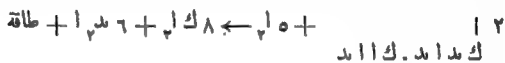


والمعادلة الآتية تبين أكسدة دهن التراولين :



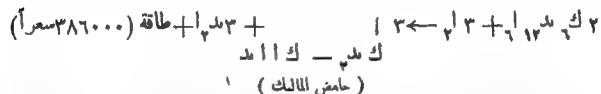
وهناك أدلة كافية على أن البروتين يستعمل في تنفس النباتات الراقية عند نقص المواد الكربوهيدراتية والدهنية بها .

ولقد ثبت أن فطر الاسبرجلس نيجر *Aspergillus niger* يمكنه أن يستعمل في تنفسه الببتون والأحماض العضوية مثل حامض الطرطريك كما في المعادلة الآتية :



(حامض الطرطريك)

وهناك نوع آخر من التنفس الهوائي يحدث في النباتات العصارية خصوصاً عندما يحدث التنفس في الظلام . فإن المادة الكربوهيدراتية لا تتأكسد أكسدة تامة نتيجة لعدم سهولة تبادل الغازات في أنسجتها المتشعبة . وتؤدي الأكسدة الغير تامة إلى تكون الأحماض العضوية كحامض المالك *Malic acid* والأكساليك *Oxalic acid* والمعادلة الآتية تبين أكسدة جزئية الجلوكوز أكسدة غير تامة إلى حامض المالك .

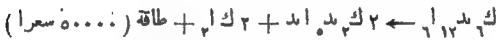


فإذا طال مكث النباتات العصارية في الظلام فإن إنتاج الأحماض العضوية يأخذ في القلة . وفي نفس الوقت يبدأ خروج ك^١ بكميات متزيدة . أما عند تعريضها للضوء فإن الأحماض العضوية تتحلل إلى ثاني أكسيد الكربون الذي يستعمل بالتالي في عملية التمثيل الضوئي .

وتشابه النباتات العصارية ، النباتات ذات الأوراق الملونة باللون الأحمر ، نتيجة لإحتوائها على صبغة الاثوسيانين . فإن أوراق هذه النباتات تمتص الأكسجين . وتكون الأحماض العضوية بدرجة أكبر من مثيلاتها من الأوراق الخضراء لنفس النبات

ثانياً: التنفس الهوائي Anaerobic respiration

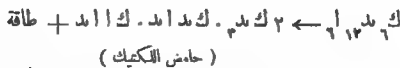
عندما تنفس النباتات بعزل عن الأكسجين أو في جو من الأزوت ، فإن المادة الكربوهيدراتية المستعملة في التنفس (ولكن الجلوكوز مثلاً) لا تتأكسد إلى نواتجها المعروفة ، بل تسلك طريقاً آخر وينتهي الأمر بأن يتكون كحول الايثايل وثنائي أكسيد الكربون وينطلق قدر ضئيل من الطاقة .



ويشابه هذا النوع من التنفس ما يحدث في عملية الاختار الكحول في فطر الخميرة . والنباتات الراقية يمكنها مزاولة هذا النوع من التنفس لمدة قصيرة نسبياً ، وتختلف هذه المدة باختلاف نوع النبات ، ولا يمكنها أن تستمر في مزاولته مدة طويلة لسببين : الأول : لأن جميع التفاعلات البنائية لا تستمر في غياب الأكسجين .

الثاني : لأن كحول الايثايل الناتج يؤثر في البروتوبلازم الحى ويتلف نفاذيته (راجع النفاذية) .

وهناك أنواع خاصة من البكتريا يمكنها أن تعيش وتنشط في ظروف غير هوائية أو في تركيزات منخفضة من غاز الأكسجين مثل بكتريا اللكتيك والبيوتريك Lactic and butyric وبكتريا عكس التآزت . فعندما تنفس بكتريا حامض اللكتيك *Bacterium lactis acid* فإنها تنتج حامض اللكتيك من سكر الجلوكوز وسكر الجالكتوز وتنتج الطاقة :



أما بكتريا *Bacillus butyricus* فإنها تنتج ثنائي أكسيد الكربون والاييدروجين والطاقة بجانب حامض البيوتريك .

ك_١ مد_١ ١ ← ك_٢ مد_٢ . ك_١ مد_١ . ك_١ ١ ١ مد_١ + ٢ ك_١ + ٢ مد_١ + طاقة
(حامض البيوتريك)

أما في بكتريا عكس التأزت *Bacillus dentrificans* فإن السكر يهدم إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون وفي نفس الوقت تختزل البكتريا المواد الأزوتية في يئتها إلى النشادر أو الأزوت باستعمال الطاقة الناتجة من هدم السكر وينتج عن ذلك إنتاج الأكسجين الذي تؤكسد به المركبات الكربوايدراتية بالطريق العادى .

ثالثا — التنفس الخاصى بالبكتريا :

تزاوّل بعض أنواع من البكتريا نوعاً خاصاً من التنفس تستعمل فيها الأكسجين وتنفرد الطاقة . فثلا تؤكسد بكتريا النيتروسوناس *Mitrosomonas* النشادر أو أملاحه إلى الأزوتيات .

٢ مد_٢ + ٣٠ أ ← ٢ مد_٢ ن أ + ٢ مد_٢ ١ + طاقة
وتقوم بكتريا الأزوتوبا كتر *Azotobacter* التى تعيش فى نفس البيئة التى تعيش فيها البكتريا السابقة بأكسدة الأزوتيت إلى أزوتات .

٢ مد_٢ ن أ + أ ← ٢ مد_٢ ن أ + طاقة
وتستخدم البكتريا الطاقة الناتجة فى بناء المواد الكربوايدراتية فى أجسامها من ك_١ ٦ مد_١ (راجع البناء الكيماوى) .
وتحصل بكتريا الايدروجين على الطاقة بأكسدة الايدروجين إلى الماء .

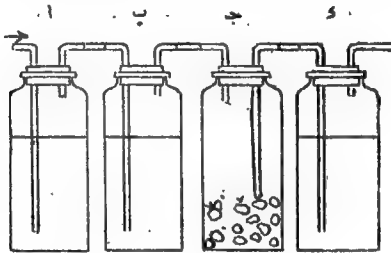
٢ مد_٢ + أ ← ٢ مد_٢ ١ + طاقة

بعض الظواهر التى تحدث أثناء تنفس النباتات :

التنفس عملية لا تحدث إلا فى الخلايا الحية . ويصحب التنفس بعض الظواهر الهامة منها استهلاك الأكسجين (فى حالة التنفس الهوائى) وخروج ثاني أكسيد الكربون (فى كلاً من نوعى التنفس) وإنتاج الكحول (فى حالة التنفس اللاهوائى) وانخفاض الوزن الجاف ، واختفاء مادة التنفس تدريجياً ، وارتفاع درجة حرارة الأنسجة المتفسدة .

١ - إنبعاث ثاني أكسيد الكربون أثناء تنفس النباتات الخضراء الراقية :

لإثبات أن ثاني أكسيد الكربون ينبعث أثناء عملية التنفس نحضر جهازاً كالمبين (بالشكل ٣٨) ويتكون من أربعة زجاجات مغطاة بسدادات من المطاط تنفذ منها أنابيب توصيل زجاجية بالنظام المبين في الشكل . ويوضع في الزجاجاة الأولى محلولاً مركزاً من الصودا الكاوية ، وفي الزجاجاة الثانية محلول ايدروكسيد الباريوم ، ويوضع في



(شكل ٣٨)

جهاز لإثبات خروج ثاني أكسيد الكربون أثناء تنفس النور

الزجاجاة الثلاثة الأعضاء النباتية المتنفسة أو البنور الحية النباتية ، أما الزجاجاة الرابعة فيوضع فيها محلول ايدروكسيد الباريوم أيضاً ، وتوصل أنبوبة الزجاجاة الرابعة بجهاز تفريغ الهواء أو بالمضخة الزجاجية المائية المستعملة في الترشيح Filter pump - عند تشغيل المضخة يدخل الهواء الجوي في الزجاجاة الأولى فيمتص محلول الصودا الكاوية المركز ما يوجد فيه من غاز ثاني أكسيد الكربون ثم يمر الغاز في محلول ايدروكسيد الباريوم في الزجاجاة الثانية فلا يسبب تعكيره لخلوه من ثاني أكسيد الكربون ، ويمر الغاز بعد ذلك على الأعضاء المتنفسة فيحمل معه ثاني أكسيد الكربون الناتج من التنفس الذي عند مروره على ايدروكسيد الباريوم في الزجاجاة الرابعة فإنه يعكره .

٢ - إنتاج ثاني أكسيد الكربون وكحول الايثايل في عملية التنفس اللاهوائي

تلفط الخنيرة :

تملاً أنبوبة اختبار إلى النصف تقريباً بمحلول مخفف (٥ ٪ مثلاً) من سكر الجلوكوز ثم يضاف إليها معلق الخنيرة ويحكم قفل الأنبوبة بسدادها الذي تخفّره أنبوبة توصيل . توضع الأنبوبة بمحتوياتها في حمام مائي تتراوح درجة حرارته بين ٣٥ - ٣٧ م . وتوضع أنبوبة التوصيل في أنبوبة تحتوي على محلول ايدروكسيد الباريوم ، فيلاحظ بعد مدة قليلة خروج فقاعات من الغاز من طرف أنبوبة التوصيل الذي يعكر ايدروكسيد الباريوم دليلاً على أنه غاز ثاني أكسيد الكربون . فإذا ما اختبر محلول السكر والخنيرة لكحول الايثايل أعطى نتيجة إيجابية .

٣ - انخفاض الوزن الجاف واختفاء مادة التنفس تدريجياً أثناء عملية التنفس :

المادة الجافة هي ما يبقى بعد تسخين وزن معين من العضو النباتي على درجة حرارة ١٠٥ م° مدة من الزمن حتى يثبت الوزن ، هذه المادة المتبقية بعد التخلص من الماء هي عبارة عن المواد الكربوايدراتية والازوتية والدهنية بالإضافة إلى بعض الأملاح والأحماض العضوية . فعند تنفس الأوراق أو البذور ، يلاحظ انخفاض وزنها الجاف تدريجياً كما يلاحظ في الوقت نفسه نقص تدريجي في المواد الكربوايدراتية أو الدهنية مما يدل على استهلاكها في عملية التنفس . فقد وجد أن محتوى البذور النشوية من المواد الكربوايدراتية يأخذ في النقص أثناء إنباتها وتنفسها . ذلك لأن خروج ثاني أكسيد الكربون يسبب فقد عنصر الكربون من النبات ، وحيث أن المواد الكربوايدراتية هي أيسر المواد الكربونية وأسهلها مناللا للنبات ، فإن النبات يستعملها في تنفسه وينطلق ثاني أكسيد الكربون وينخفض تبعاً لذلك الوزن الجاف للنبات ، فإذا ما نفذت المواد الكربوايدراتية سهلة الأكسدة من خلايا النبات المنتفس فإنه يأخذ في استعمال المواد الغذائية الأخرى في تنفسه . فقد وجد Godwin (١٩٢٦) في تجاربه على تنفس أوراق نبات Cherry laurel في الظلام أن الأوراق استعملت

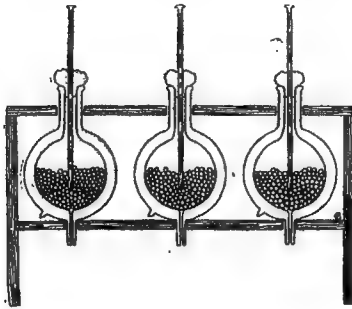
أولاً في تنفسها المواد الكربوهيدراتية فتحلل النشاء الموجود في الأوراق إلى سكريات استعملها النبات في تنفسه وعند نفاذ المادة الكربوهيدراتية تماماً فإن النبات ابتداءً يهدم البروتين ويلازم واستعمله في تنفسه .

وبما هو جدير بالملاحظة أن الوزن الجاف للأوراق الخضراء ينقص أثناء الليل لاستهلاك بعض الغذاء المدخر فيها في التنفس . والنباتات متساوية الأوراق ينقص وزنها الجاف في فصل الشتاء وفي مراحل النمو الأولى في الربيع ؛ فعندما ينشط نمو البراعم والدرنات والريزومات وتظهر الأوراق على الأفرع فإن مواد التنفس المدخرة في الخلايا البرانشيمية تسحب وتؤكسد وتستعمل في التنفس ويتبع ذلك انخفاض وزنها الجاف . ولا يمكن تعويض هذا النقص في الوزن الجاف حتى يتم انبساط الأوراق وتنشط عملية البناء الضوئي .

٤ — انطلاق الطاقة الحرارية أثناء التنفس :

لإنبات انبعاث الحرارة أثناء التنفس تستعمل زجاجات ترموس Thermos flasks (شكل ٣٩) ويوضع في الزجاجة الأولى بذور حية نابتة وفي الثانية كمية أخرى من نفس البذور بعد قتلها بوضعها في ماء يغلي مدة دقيقة ، وفي الثالثة توضع كمية نائلة من البذور النابتة بعد قتلها بالماء الساخن وإضافة محلول ١ ٪ من كلورور الزئبقيك الذي يمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة . ثم تسد فوهة كل زجاجة بقطعة من القطن وتزود بترمومتر حساس ، وترك الزجاجات بعض الوقت ، يلاحظ بعدها ارتفاع درجة الحرارة وثباتها لبضعة أيام في الزجاجة الأولى المحتوية على البذور الحية النابتة . أما بذور الزجاجة الثانية فلا ترتفع درجة حرارتها إلا بعد يومين عندما تبدأ الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا والفطريات) في النمو على البذور الميتة . أما بذور الزجاجة الثالثة الميتة والمعاملة بكلورور الزئبقيك فلا ترتفع درجة حرارتها عن درجة حرارة الجيو وتظل ثابتة طول مدة التجربة .

وبسبب ارتفاع درجة الحرارة في الزجاجة الأولى أن البذور تنفست وأكسدت



(شكل ٣٩)

انبعاث الحرارة أثناء عملية التنفس

تحتوي الزجاجية الأولى على بذور حية ناجة .
وتحتوي الزجاجية الثانية على بذور نابتة قتلت في ماء يغل .
وتحتوي الزجاجية الثالثة على بذور نابتة قتلت في ماء يغل وأضيف إليها ٩ ٪ من
محلول كلورور الزئبق لينع نمو الكائنات الحية الدقيقة . (عن توماس)

مادة التنفس فالطلق قدر من الطاقة على شكل حرارة . أما في الزجاجية الثانية فإن
ارتفاع درجة الحرارة يعزى إلى نمو وتكاثر وتنفس الكائنات الحية الدقيقة التي
نمت على البذور الميتة .

معامل التنفس Respiratory quotient

يطلق معامل التنفس على النسبة بالحجم بين ك. أ. المنطلق أثناء عملية التنفس إلى

$$\left(\frac{\text{ك. أ.}}{\text{ك. هـ.}} \right)$$

وعند فحص معادلات التنفس السابقة ، يتضح أن معامل التنفس يختلف باختلاف
تركيب مادة التنفس Respiratory substrate المستعملة ، كما يختلف باختلاف
نوع التنفس .

فإذا كانت مادة التنفس مادة كربوايدراتية وكانت الأكسدة تامة فإن معامل التنفس يقرب دائماً من الوحدة :

$$\begin{aligned} & \text{ك} \frac{1}{12} \text{د} + \frac{1}{4} \text{د} \leftarrow \frac{1}{2} \text{ك} + \frac{1}{2} \text{د} + \text{طاقة} \\ & \text{معامل التنفس} = \frac{\frac{1}{12} \text{ك}}{\frac{1}{4} \text{د}} = \frac{1}{3} = \frac{1}{3} \end{aligned}$$

أما إذا كانت أكسدة المادة الكربوايدراتية المستعملة في التنفس غير تامة . وتنتج الأحماض العضوية كما في تنفس النباتات العصارية ، فإن معامل التنفس يقل عن الوحدة . أما إذا تأكسدت المادة جميعها إلى حامض عضوى ولم ينتج ك_٢ بالمرءة فإن معامل التنفس يصبح مساوياً للصفر كما يحدث عند أكسدة الجلوكوز إلى حامض الماليك .

$$\begin{aligned} & \text{ك} \frac{1}{12} \text{د} - \text{ك} \frac{1}{12} \text{د} \\ & \text{ك} \frac{1}{12} \text{د} + \frac{1}{4} \text{د} \leftarrow \frac{1}{2} \text{ك} + \frac{1}{2} \text{د} + \text{طاقة} \\ & \text{ك} \frac{1}{12} \text{د} - \text{ك} \frac{1}{12} \text{د} \\ & (\text{حامض الماليك}) \end{aligned}$$

$$\text{معامل التنفس} = \frac{\text{صفر ك} \frac{1}{12}}{\frac{1}{4} \text{د}} = \frac{\text{صفر}}{3} = \text{صفر}$$

أما إذا استعمل الدهن كإداة للتنفس فإنها تحتاج إلى كميات أكبر من الأكسجين . لكي تتأكسد أكسدة تامة إلى ثانى أكسيد الكربون والماء عما في حالة الكربوايدرات (أنظر معادلة الترايولين)

$$\text{معامل التنفس} = \frac{57 \text{ ك} \frac{1}{12}}{80 \text{ د}} = \frac{57}{80} \approx 0.71 \text{ تقريباً}$$

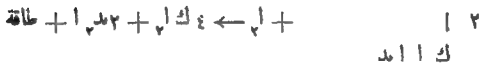
وإذا كانت مادة التنفس غنية في الأكسجين كالأحماض العضوية فإن معامل التنفس دائماً يكون أكبر من الوحدة . ففي حالة أكسدة حامض الطرطريك فإنه يساوى ١,٦

وفي حالة حامض الأكساليك يساوى ٤ (أنظر معادلة حامض الطرطريك) .

$$\text{معامل التنفس} = \frac{8}{0} = \frac{8 \text{ ك أ}}{1 \text{ أ}} = 1,6$$

أما في حامض الأكساليك فإن الأكسدة تحدث طبقاً للمعادلة :

ك أ أ د

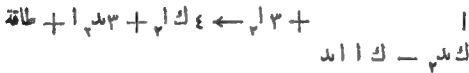


(حامض الأكساليك)

$$\text{معامل التنفس} = \frac{4}{1} = \frac{4 \text{ ك أ}}{1 \text{ أ}} = 4$$

وإذا استعمل حامض الماليك فإن معامل التنفس يساوى ١,٣٣

ك د أ د — ك أ أ د



(حامض الماليك)

$$\text{معامل التنفس} = \frac{4}{3} = \frac{4 \text{ ك أ}}{3 \text{ أ}} = 1,33$$

العوامل التي تؤثر على قيمة معامل التنفس

١ — درجة الحرارة :

يسبب رفع درجة الحرارة حول الأعضاء المنتفسة سرعة تحلل وأكسدة الأحماض العضوية التي تكون قد تراكت داخل الأنسجة العصارية في درجات الحرارة المنخفضة .
عما يدعو إلى زيادة معامل التنفس زيادة ملحوظة نظراً لزيادة ك أ المنطلق . فعندما

رفعت درجة حرارة بذور التفاح زاد معامل تنفسها زيادة ظاهرة . أما إذا رفعت درجة الحرارة عن ٤٥°م فإن ذلك يضر بجيوية البروتوبلازم ويقف التنفس .

٢ — تركيز الأكسجين :

إذا انخفض تركيز الأكسجين حول الأنسجة المنتفسة عن حد معين (يختلف باختلاف النباتات) فإن معامل التنفس يزداد زيادة واضحة لحدوث التنفس اللاهوائي إلى جانب التنفس الهوائي لأن الأول ينتج فيه ك_٢ بدون استهلاك الأكسجين . والجدول الآتي يبين هذه الظاهرة [مأخوذ من نتائج Stich (١٨٩١)] .

النبات المستعمل	تركيز الأكسجين	معامل التنفس
بادرات القمح	٪ ٢٠,٠	٠,٩٨
	٪ ٩,٠	٠,٩٤
	٪ ٥,٠	٠,٩٣
بادرات البسلة	٪ ٣,٠	٣,٣٤
	٪ ٢٠,٨	٠,٨٣
	٪ ٩,٣	٠,٨٦
	٪ ٣,٥	٢,٣١
أبصال الزرجس	٪ ٢٠,٨	٠,٩٦
	٪ ١٠,٢	١,٠٤
	٪ ٧,٥	٢,٣٦

٣ — تركيز ثاني أكسيد الكربون

لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون حول النبات تأثير مثبط على عملية التنفس فيؤثر في معدل خروج ثاني أكسيد الكربون أكثر مما يؤثر على معدل امتصاص الأكسجين وذلك يؤدي إلى انخفاض معامل التنفس .

طرق قياس معدل التنفس :

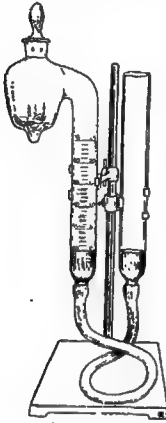
يستعمل لقياس معدل التنفس إما تقدير الأكسجين الممتص أو ثاني أكسيد الكربون المنطلق . وقد استعمل لذلك الغرض أجهزة كثيرة تتكون في أبسط حالاتها من حجرة محكمة القفل يوضع داخلها الجزء النباتي المراد تقدير معدل تنفسه وتحتوى الحجرة على مخلوط غازي معروف التركيب . وبعد مدة من الزمن تقدر كمية الأكسجين المتبقية في الحجرة في معدل الضغط والحرارة . وذلك بامتصاصه بواسطة حامض البيروجاليك ، كما تقدر كمية ثاني أكسيد الكربون باستعمال مادة تمتصه مثل أيدروكسيد البوتاسيوم . وفيما يلي شرح بعض الأجهزة والطرق الأكثر استعمالاً في قياس معدل التنفس ، مع ملاحظة أنه عند استعمال نباتات خضراء في التجربة أن يحجب عنها الضوء حتى لا تحدث عملية البناء الضوئي أثناء التجربة فيستهلك إلى الناتج في عملية التمثيل الضوئي قبل أن يتمكن من مغادرة النبات مما يؤدي إلى نتائج لا تمثل واقع عملية التنفس ، أو تستعمل أعضاء نباتية خالية من المادة الخضراء كالبنور النابتة مثلاً أو الثمار التي لا تحتوى على مواد ملوثة خضراء .

١ — جهاز جانونج Ganong's respirometer

لاستعمال هذا الجهاز يوضع ٢ سم^٣ من النسيج النباتي في مستودع الجهاز ثم يوضع في مانومتر الجهاز محلول مركز من كلورور الصوديوم (يستعمل هذا المحلول لأن ثاني أكسيد الكربون لا يقبل الذوبان فيه) . وقبل بدء التجربة يحرك غطاء الجهاز حتى تقابل فتحة الغطاء مع الفتحة الموجودة في رقبة المستودع وذلك لتسوية الضغط الداخلي بالجهاز بالضغط الجوي الخارجي . ثم يضبط ارتفاع المحلول الملحي في ساق المانومتر الثابتة على رقم ١٠٠ وذلك معناه أن النسيج النباتي يحاط بمقدار من الهواء قدره ١٠٠ سم^٣ . وتبدأ التجربة بتحريك غطاء المستودع ، وبذلك ينقطع الاتصال بين النبات المستعمل والجو الخارجي . (أنظر شكل ٤٠) .

يترك الجهاز بعض الوقت . ويلاحظ من حين لآخر التغير الذي يطرأ على سطح

المحلول الملحي في ساق المانومتر . فإذا لم يتغير سطح السائل دل ذلك على أن النسيج النباتي يستعمل في تنفسه مادة كربوايدراتية لأن حجم الأكسجين الممتص في هذه الحالة يساوى حجم ثاني أكسيد الكربون المنطلق (معامل التنفس = ١) . فإذا أضيفت بضغ قطع من الصودا الكاوية إلى المحلول الملحي (ويكون ذلك عن طريق الساق الأخرى غير المدرجة وتحريك أنبوبة المطاط باحتراس حتى تنقل الصودا الكاوية إلى ساق المانومتر المدرجة وتنوب في المحلول الملحي) فإن الصودا الكاوية تمتص ثاني أكسيد الكربون الموجود في الساق المدرجة ، ويرتفع سطح المحلول الملحي تبعاً لذلك ويمكن حينئذ قياس حجم الغاز .



(شكل ٤٠)
جهاز جانونغ
(عن توماس)

أما إذا كانت المادة التي يستعملها النبات في تنفسه هي مادة دهنية . فإن النبات يمتص كمية من الأكسجين أكبر من التي يخرجها من ثاني أكسيد الكربون ، ويرتفع تبعاً لذلك المحلول الملحي في ساق المانومتر المدرجة . فإذا فرضنا أن حجم غاز الأكسجين الزائد

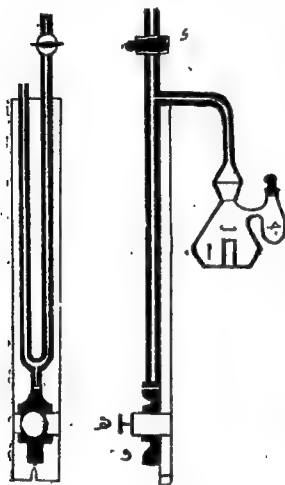
هو $\text{ح}_٢$ ويساوى قيمة ارتفاع السائل في الساق المدرجة . فإذا أضيفت الصودا الكاوية فإنها تمتص ثاني أكسيد الكربون الناتج ويتبع ذلك زيادة ارتفاع المحلول في الساق ، ورمزنا لحجم ثاني أكسيد الكربون بالرمز $\text{ح}_١$ فإن مجموع حجم الأكسجين الممتص يكون $(\text{ح}_٢ + \text{ح}_١)$ وبذلك يكون معامل التنفس مساوياً

$$\frac{\text{ح}_٢}{\text{ح}_٢ + \text{ح}_١}$$

وحيث أن أحجام الغازات تتغير بتغير درجة الحرارة فإنه يجب تصحيح نتائج هذا الجهاز تبعاً لذلك للحصول على نتائج صحيحة . ولإجراءات ذلك يستعمل جهاز

جانونج آخر ، ولكن يستبدل النسيج النباتي بحجم مماثل من ورق الترشيح أو القطنة المبلل بالماء ، ويترك الجهاز في نفس ظروف الجهاز الآخر طول مدة التجربة وعند قراءة الجهاز الأول يجب تصحيح قراءته بإضافة أو طرح ما يبينه الجهاز الثاني وذلك حسب الحالة .

٢ . — جهاز باركروفت فاربورج Barcroft Warburg's respirometer



(شكل ٤١)

جهاز باركروفت فاربورج لقياس التنفس
إلى اليمين — منظر جانبي — إلى اليسار — منظر أمامي للجهاز

يفضل استعمال هذا الجهاز عند قياس تنفس البذور والفطريات والطحالب نظراً لدقة نتائجه . وللجهاز أشكال وتعديلات كثيرة أبسطها الموضح في (شكل ٤١) ، ولتشغيل الجهاز توضع المادة النباتية في الغرفة « ١ » داخل وعاء صغير « ب » ثم يوضع « ٣ سم^٣ » من محلول « ٢ س . ب » في الغرفة « ١ » خارج الوعاء المحتوي على المادة النباتية ثم يوضع حوالي « ١ سم^٣ » من « ٢ س . ب » في الغرفة « ١ » ثم الملحقة بالمحقة بالغازين ، وتثبت الغرفة « ١ » بالممانومتر بواسطة استعمال حلقة من المطاط . وفي نفس الوقت يعد جهاز آخر كالأول تماماً إلا أنه يكون خالياً من النبات لاستعماله كبارومتر . ثم يركب الجهاز بحيث تغمر الحجرات في حمام مائي ذو درجة حرارة معينة ومضبوطة أو توماتيكياً بضابط حراري . ويلاحظ ترك الصمام « د » مفتوحاً في جميع المانومترات المستعملة ثم يترك الجهاز ليتهز في حركة ترددية لمدة ١٥ دقيقة حتى

كبارومتر . ثم يركب الجهاز بحيث تغمر الحجرات في حمام مائي ذو درجة حرارة معينة ومضبوطة أو توماتيكياً بضابط حراري . ويلاحظ ترك الصمام « د » مفتوحاً في جميع المانومترات المستعملة ثم يترك الجهاز ليتهز في حركة ترددية لمدة ١٥ دقيقة حتى

تأخذ الحجرات درجة حرارة الحمام المائي ثم يحرك المسار « د » ليضبط على أنبوبة المطاط « و » فيدفع السائل الذي بها حتى يصل إلى التدريج صفر في. الساق اليمنى للانومتر ثم يقفل الصمام « و » ويعرف الوقت ويسجل .

ولتعيين معامل التنفس يلزم استعمال مادتين نباتيتين منجانستين يستعمل أحدهما في تقدير محتوى الحماض المستعملة من ك ا^١ ويجرى ذلك بأن يصب الحامض من الوعاء « ح » إلى الغرفة « ا » فيدل ارتفاع المحلول في ساق الانومتر على كمية ك ا^١ المتصاعدة. أما المادة النباتية الثانية والموضوعة في الجهاز الآخر فإنها تترك لتتنفس ، وبعد انتهاء التجربة يقاس الأكسجين المستهلك بأن يصب الحامض كما في الجهاز الأول فيتصاعد ك ا^١ الناتج من التنفس والذي يكون قد امتص بواسطة محلول أيدروكسيد البوتاسيوم ويمكن إيجاد معامل التنفس بالمعادلة التالية :

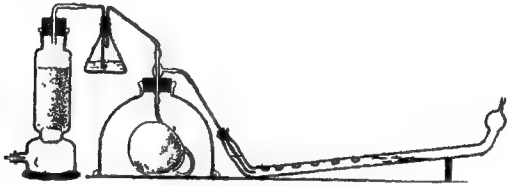
$$\frac{\text{حجم ك ا}^1 \text{ النهائي الناتج بالمليمتر المكعب} - \text{حجم ك ا}^1 \text{ الأصلي}}{\text{حجم الأكسجين المستهلك}}$$

٢ — جهاز الكاثارومتر Katharometer

في عام (١٩٣١) اقترح Stiles & Leach استعمال الكاثارومتر لقياس معدل التنفس بدقة متناهية . والنظرية التي بنى عليها هذا الجهاز هي تغير درجة مقاومة سلك بلاتيني لمرور تيار كهربائي باختلاف تركيب الغاز المحيط بالسلك البلاتيني . ويتركب الجهاز من أنبوبة زجاجية داخلها سلك ملفوف من البلاتين الذي ترتفع درجة حرارته عند إمرار تيار كهربائي فيه . ويمكن تقدير درجة مقاومته للتيار الكهربائي بتقدير درجة التوصيل الحراري للغازات المحيطة به ، فعند تنفس النبات فإن تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون يتغير ، وهذا يؤدي إلى تغير درجة التوصيل الحراري لخليط الغاز الذي يؤثر على درجة حرارة السلك كما يؤثر على درجة مقاومته للكهرباء . وفضلا عن دقة هذا الجهاز فإنه يمكن أخذ تسجيلات مستمرة لتركيز ثاني أكسيد الكربون طول مدة التجربة .

٤ — طريقة الغاز المستمر Continuous gas method

يفضل دائماً عند قياس معدل التنفس أن يمرر تيار هوائي خال من ك_٢ا_١ على النسيج النباتي المتنفس بدلاً من وضعه في حيز مغلق . ثم يمرر الغاز الناتج من عملية التنفس في محلول خاص لامتصاص ك_٢ا_١ كما في (شكل ٤٢) . يمرر الهواء



(شكل ٤٢)
طريقة الغاز المستمر في قياس التنفس (عن بوماس)

الجرى أولاً على برج زجاجي يحتوي على الصودا الجيرية Soda lime لامتصاص كل ك_٢ا_١ ، ثم يمرر الغاز في الدورق المخروطي المتصل بالجهاز والمحتوي على محلول أييدروكسيد الباريوم للتأكد من خلوّه من ثاني أكسيد الكربون ، وبعد ذلك يمرر الغاز على العضو أو النسيج النباتي الذي يتنفس والموضوع تحت الناقوس الزجاجي ، ويمرر الغاز بعد التنفس في أنبوبة زجاجية خاصة تعرف بأنبوبة بتنكوفر Pettenkofer tube تحتوي على محلول معروف الحجم والقوة من أييدروكسيد الباريوم . يترك الجهاز للعمل لمدة معينة ثم يقدر ثاني أكسيد الكربون الممتص في الأنبوبة بواسطة عملية تعادل بسيطة بحامض كلوردريك معروف القوة .

وفي جميع الطرق السابق شرحها يقدر معدل التنفس بدرجة تبادل الغازات بين النسيج النباتي والجو المحيط به . إلا أنه يتطلب الأمر أحياناً تقدير كمية المادة الغذائية التي استهلكها فعلاً في عملية التنفس وهذا لا يمكن إجراؤه إلا عند قتل النسيج النباتي وتحليله . والطريقة الوحيدة لذلك هو أن تستعمل مجموعة واحدة متجانسة من النسيج النباتي (كالثمار مثلاً) في مبدأ التجربة ، ثم يجري تحليل بعض هذه العينات على فترات

تختلف باختلاف مدة التجربة . وتحسب النتائج بطرق إحصائية خاصة لتقليل الخطأ التجريبي والخطأ الناتج من اختلاف العينات فيما بينها ومنها يمكن دراسة التغير في تركيز مادة التنفس طول مدة التجربة .

ويختلف معدل التنفس اختلافاً كبيراً باختلاف الأعضاء النباتية المستعملة . فمثلاً تعتبر البكتريا والفطر من أنشط النباتات في تنفسها . ومعدل تنفس نباتات الظل والنباتات العصارية يكون أقل من معدل تنفس النباتات العادية . وفي النباتات الراقية يزيد معدل تنفس الأجزاء النامية والحديثة التكوين عن الأعضاء المسنة . فالأزهار مثلاً والبراعم الطرفية يزيد معدل تنفسها عن أجزاء النبات الأخرى .

العوامل التي تؤثر في معدل عملية التنفس :

١ — الماء :

تضح أهمية الماء كعامل يؤثر في معدل التنفس عند دراسة تنفس البنور . فقد وجد أن البنور الناضجة الجافة جفافاً هوائياً والتي تحتوى على نسبة من الماء تتراوح بين ١٠ — ١٢ ٪ تكاد لا تحدث فيها عملية التنفس ، وأنه وإن كان التنفس أحد ظواهر الحياة ، وأن البنور الجافة الناضجة هي أعضاء نباتية حية . إلا أنه عند قياس تنفسها بالأجهزة التي بين أيدينا لا يظهر بها ما يثبت أنها تراول عملية التنفس . وعلى ذلك فإنه لا يمكن القطع بأن البنور الجافة لا تنفس ولكن يمكن اعتبارها أعضاء نباتية متنفسة وإنما يحدث بها التنفس بمعدل ضئيل جداً لا يمكن قياسه بأجهزتنا العادية . وعلى كل حال فإن معدل تنفسها يزداد عندما يزداد محتواها المائي بامتصاص الماء وتبدأ في الانبات .

والجدول الآتي يبين العلاقة بين معدل التنفس ودرخة الرطوبة في حبوب القمح

(عن Peirce)

ك ٢ الناتج في ٢٤ ساعة لكل ١٠٠ جم من المادة الجافة بالمليجرام	درجة الرطوبة في المائة
٠,٥٤	١٢,٠٠
٠,٦٥	١٣,٩٣
٠,٨٦	١٤,٧٨
١,٦٢	١٥,٤٢
١١,٧٢	١٧,٩٧

ومن تجارب Bailey and Gurjar أن خبواب القمح احتوت على ٠,١٦٪ من السكريات المختزلة عندما كان محتواها المائي ١٢٪ ولكن عندما امتصت الماء ونبئت لمدة ٢٤ ساعة ارتفع محتواها السكري إلى ٠,٥٩٪ ولما تركت ٢٤ ساعة أخرى زاد المحتوى السكري إلى ١,١٪ أى أن امتصاص الماء سبب زيادة مادة التنفس وهي السكر. وترجع هذه الزيادة إلى أن أنزيم الأميليز قام بتحليل النشاء المدخر في الخبواب إلى السكر الذي يتركز ويزداد تركيزه في الخبواب استعداداً لاستهلاكه في عملية التنفس.

٢. — درجة الحرارة :

مُدْرَس تأثير الحرارة على معدل التنفس في بادرات البسلة حيث تركت لتثبت لمدة ٤ أيام في درجة حرارة ٢٥°، ثم قسمت البادرات إلى مجاميع، ونقلت بادرات كل مجموعة إلى درجة حرارة خاصة وقيس معدل تنفسها. فوجد أن معدل التنفس انخفض انخفاضاً تدريجياً أعقبه ثبات في معدل التنفس عندما تركت لتتنفس في درجة حرارة أقل من ٢٥°م. أما عند نقل البادرات إلى درجة ٣٥°م فإن معدل تنفسها زاد تدريجياً ثم ثبت بعد وقت معين. وقد وجد أن المعامل الحراري لتنفس هذه البادرات بين درجة الصفر ودرجة ٣٥°م يساوي ٢ — ٢,٢، وهذا يطابق تماماً قانون فانت هوف الخاص بتأثير الحرارة على معدل سير التفاعلات الكيميائية. أما

عند وضع البادرات في درجة حرارة فوق 35°C فإن معدل التنفس ارتفع ارتفاعاً مبدئياً أعقبه هبوط سريع وزادت سرعة الهبوط بزيادة درجة الحرارة المستعملة . ويعمل الارتفاع المبدئي في معدل التنفس في درجات الحرارة فوق 35°C إلى ما للحرارة من تأثير على سرعة سير التفاعل الكيماوى ، إلا أنها في الوقت نفسه لها تأثير ضار على حيوية البروتوبلازم . وهذا يفسر الهبوط المفاجيء في معدل التنفس بعد قليل من الزمن عندما تأثر البروتوبلازم .

٣ — المادة المستعملة في التنفس : Respiratory substrate

يتوقف معدل التنفس على درجة تركيز مادة التنفس الذائبة . فثلاً يكون معدل التنفس في درنات البطاطس منخفضاً رغم احتوائها على نسبة من النشاء تبلغ ١٧ ٪ إلا أن درجة تركيز السكريات بها منخفضة وتبلغ حوالى ٠,٤ ٪ لأن هذه السكريات هي المادة التي تستهلك في التنفس وليس النشاء . وقد أوضح Hanes and Barker (١٩٣١) أن معدل التنفس في درنات البطاطس يزداد بازدياد محتواها السكرى . فقد وجد أن المحتوى السكرى زاد عند تعريض الدرنات لجو يحتوى على غاز حامض الأيدروسيانيك (٠,١٤ — ٠,٣ سم^٣ لكل لتر من الهواء) وأن معدل تنفسها زاد تبعاً لذلك عن الدرنات التي لم تعامل بالغاز . وقد لاحظ باركر (١٩٣٣) أن تركيز السكر في درنات البطاطس زاد عشر مرات عن تركيزه الاصلى عندما حفظت في درجة حرارة 10°C لمدة ثلاثة شهور، وذلك بمقارنتها بالدرنات المحفوظة في درجة 15°C . وأن معدل تنفس الدرنات الأولى كان أعلا بكثير من معدل تنفس الدرنات الأخيرة نظراً لوفرة مادة التنفس . وعندما أعيدت الدرنات السكرية إلى درجة 15°C ، فإن محتواها السكرى نقص نقصاً سريعاً إلى أن تساوى مع الدرنات العادية . ويرجع هذا الانخفاض في المحتوى السكرى للدرنات السكرية عند رفع درجة حرارتها من 10°C — 15°C إلى زيادة معدل التنفس في درجة الحرارة العالية وكذلك إلى تحول جزء كبير من السكر إلى النشاء .

وثمة تجربة أخرى أثبت بها Kosinski (١٩٠٢) علاقة التنفس بتركيز مادة

التنفس على قطر الاسبرجلس *Aspergillus niger* . فقد وجد أن معدل التنفس زاد زيادة ملحوظة عند تغذية الفطر بمحلول سكر الجلوكوز ، وأن هذا المعدل انخفض انخفاضاً كبيراً عندما استبدل محلول الجلوكوز بالماء المقطر ، فإذا ما استبدل الماء بمحلول السكر ثانية زاد معدل التنفس .

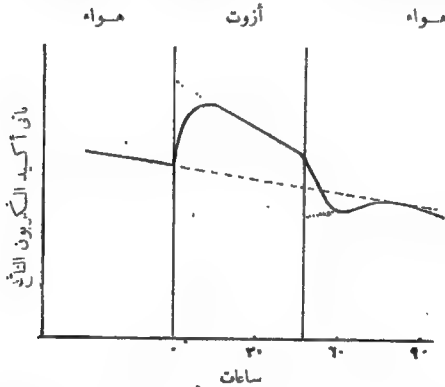
وفي عام (١٩٣٧) قام سعيد بتغذية أقراص من الجزر بمحاليل سكرية من السكروز والجلوكوز والمانوز والجلسكروز والمولتوز فلاحظ أن خلايا النبات امتصت السكريات المختلفة من محاليلها ، وأن معدل تنفسها زاد زيادة ملحوظة عن نظائرها التي تركت في الماء المقطر للمقارنة .

وقد قام كثير من العلماء ببحث نوع السكر الذي يفضلته النبات كإداة يستعملها للتنفس واختلقت آراؤهم في هذا الموضوع إلى أن أثبتت Mrs. Onslow (١٩٣١) أن النبات يستعمل سكر الفركتوز النشط (فيورانوز) الذي ينتج في خلايا النبات إما نتيجة لتحلل السكروز تحليلاً مائياً فينتج الفركتوز النشط مباشرة ، وإما أن ينتج بطريق غير مباشر من عملية فسفرة الهكسوزات العادية . وقد أثبت الجوادى (١٩٣٥) وسعيد (١٩٣٧) أنه عند تنفس النباتات المحتوية على السكروز والهكسوزات فإنها تفضل الأول كإداة للتنفس ، ويأخذ محتواه في النقص حتى يصل تركيزه إلى الصفر ، بينما لا يزال النبات محتوياً على كمية كبيرة نسبياً من الهكسوزات . أما إذا لم تحتو أنسجة النبات على السكروز فإن النبات يلجأ إلى استهلاك الهكسوزات في التنفس . والخلاصة أن النبات يستعمل أى مادة سكرية في تنفسه ، وأن له القدرة على تحويل أى نوع من السكريات إلى الآخر .

٤ — تركيز الأكسجين الجوى :

في عام (١٨٩١) أوضح Stich أن معدل التنفس لا يتغير إذا انخفض تركيز الأكسجين حول النبات عن تركيزه العادى في الهواء الجوى (٢٠.٩ ٪) إلى تركيز ٥ ٪ . فإذا انخفض تركيز الأكسجين عن هذا القدر فإن معدل التنفس يرتفع ارتفاعاً مفاجئاً نتيجة لحدوث التنفس اللاهوائى في خلايا النبات .

أما الأبحاث الحديثة التي قام بها F. F. Blackman and Parija (١٩٢٨) فقد أظهرت أن معدل التنفس يتغير بأى تغير يحدث في تركيز الأكسجين حول النبات . وقد استعملوا في أبحاثهما على التنفس ثمار التفاح ولاحظوا أنه في غياب الأكسجين تماماً أن ثاني أكسيد الكربون الناتج يكون دائماً أكثر منه في حالة التنفس في وجود الأكسجين . وشكل (٤٣) يوضح التغير في ثاني أكسيد الكربون الناتج من ثمرة تفاح نقلت من الهواء الجوى



(شكل ٤٣) تنفس ثمرة التفاح عند نقلها من الهواء الجوى إلى الأزوت ومنه إلى الهواء الجوى ثانية (عن ف . ف . بلاكلان)

إلى جو من غاز الأزوت ثم أعيدت بعد ذلك لتنفس في الهواء العادى ، وقد أظهر هذان الباحثان أن ثمرة التفاح يمكنها أن تظل في جو من الأزوت مدة ٥٠ ساعة بدون أن تلف . وعندما نقلت إلى الأزوت لوحظ ارتفاع مفاجئ في معدل ثاني أكسيد الكربون الناتج واستمر هذا الارتفاع لمدة بضعة ساعات ثم أخذ المعدل في الانخفاض ولكن إلى معدل أعلا مما لو تركت الثمرة تنفس في الهواء العادى طول الوقت المستعمل في التجربة . فإذا أعيد نقل التفاحة من الجو الأزوتى لتنفس في الهواء الجوى قبل مضي ٥٠ ساعة من تنفسها في الأزوت فإن معدل التنفس يهبط

هبوطاً مريعاً لبضع ساعات تسترد بعدها ثمرة التفاح حالتها الطبيعية ويرتفع معدل تنفسها كما لو كانت تنفس تنفساً عادياً .

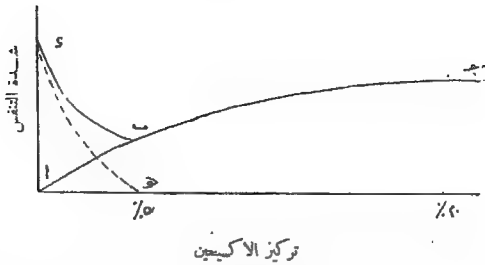
وقد أوضح بلاكان ومعاونوه (١٩٢٨ - ١٩٣٢) أنه عندما وضعت الثمرة في جو من الأزوت يحتوى على ٣ - ٥ ٪ أكسجين فإن ثانى أكسيد الكربون الناتج يكون بعضه ناتجاً من التنفس الهوائى والآخر ناتجاً من التنفس اللاهوائى . والجدول التالى يبين العلاقة بين نوعى التنفس في تركيزات مختلفة من الأكسجين . (عن Thomas & Fidler) (١٩٣٢) .

تركيز الأكسجين				ك ا الناتج من ثمرة التفاح بالمليجرام لكل ١٠٠ جم من الوزن الرطب في مدة ١٠٠ ساعة
٠ ٪	٢,٩ ٪	٥,٣ ٪	٢١,٠ ٪	
٦٣١	٤٩٩	٤٩٣	٥٦٧	ثانى أكسيد الكربون الكلى
٦٣١	٦٧	٥	صفر	ك ا الناتج من التنفس اللاهوائى
صفر	٤٢٢	٤٨٨	٥٦٧	الهوائى

ومنه يتضح أنه كلما زاد تركيز الأكسجين في الجو المحيط بالثمرة فإن ثانى أكسيد الكربون الناتج من التنفس الهوائى يأخذ في الزيادة بينما ينقص الناتج منه من التنفس اللاهوائى بسرعة .

وعندما يصل تركيز الأكسجين إلى ٥ ٪ فإن جميع ثانى أكسيد الكربون الناتج يكون نتيجة للتنفس الهوائى الصفر (شكل ٤٤) فإذا زاد تركيز الأكسجين عن ٥ ٪ فإن الثمرة تنفس تنفساً هوائياً وأى زيادة في تركيز الأكسجين من ٥ ٪ إلى ١٠ ٪ تصحبها زيادة في ثانى أكسيد الكربون الناتج .

وبما يجب ملاحظته أن درجة تركيز الأكسجين التى عندها يقف التنفس اللاهوائى تماماً تختلف من نبات إلى نبات وحتى في النبات الواحد ، فقد وجد مثلاً أنها في الثمار الصغيرة للتفاح تكون ٥ ٪ بينما تراوح في الثمار كبيرة السن بين ٩ - ١٠ ٪ .



(شكل ٤٤) رسم تخطيطي بين علاقة التنفس في التفاح بدرجة تركيز الأكسجين - بين للنتج (د هـ) ثاني أكسيد الكربون الناتج أثناء التنفس اللاهوائي . وبين المنحنى (ا ب) ثاني أكسيد الكربون الناتج أثناء التنفس الهوائي عندما كان تركيز الأكسجين بين صفر و ٥٪ . أما المنحنى (د ب ج) فيبين التغير الذي يحدث في تنفس التفاح في تركيزات مختلفة من الأكسجين .

٥ - تركيز ثاني أكسيد الكربون حول النبات :

إذا تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون حول النبات المتنفس فإن ذلك يؤدي إلى خفض معدل تنفسه . والجدول الآتي يبين هذه العلاقة [من نتائج Kidd (١٩١٥)] عند قياس الأكسجين المستهلك وثاني أكسيد الكربون الناتج عن تنفس بذور نبات *Sinapis alba* في الجو العادي بامتثال تركيزات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون .

تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو المستعمل	الأكسجين المستهلك في ٤٠ ساعة	ك١ الناتج في ٤٠ ساعة	معامل التنفس
٠ ٪	١٩٧ سم ^٣	١٧٣ سم ^٣	٠,٨٧
١٠ ٪	١٨٥	١٥٨	٠,٨٥
٢٠ ٪	١٢٢	٩٦	٠,٧٥
٣٠ ٪	١٠٤	٧٥	٠,٧٢
٤٠ ٪	٩٧	٦١	٠,٦٣
٨٠ ٪	٩٠	٤١	٠,٤٥

وقد استغلت ظاهرة انخفاض معدل التنفس عند زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون حول النبات في عملية حفظ المواد الغذائية . فإذا أحيطت ثمار التفاح مثلاً بجو يحتوي على ١٣٪ من ثاني أكسيد الكربون فإن معدل تنفسها ينخفض إلى أقل حد ممكن وبذلك يمكن إطالة مدة حفظها بدون أن تلف . وتستعمل هذه الطريقة الآن في حفظ الثمار والخضروات الطازجة عند نقلها إلى مسافات طويلة في بواخر الشحن ، فإنها توضع في حجرات مزودة بأجهزة أوتوماتيكية لحفظ تركيز ثاني أكسيد الكربون حولها حتى لا ينقص ولا يزيد عن ١٣٪ بدلا من طريقة حفظها في درجات حرارة منخفضة التي كانت تسكلف مصاريف باهظة فضلا عن التلف الذي كان يلحق بالثمار إذا ما تجمدت .

أما إذا زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون عن ١٣٪ فإن الثمار تعجز عن مواصلة عملية التنفس الهوائى ولا يمكنها استعمال الأكسجين الموجود في الجو وتكون النتيجة أن يتكون في خلايا النبات كحول الإيثايل والاسيتالدهيد إلى جانب ثاني أكسيد الكربون الناتج من تنفسها تنفساً لاهوائياً . ومعروف أن الأسيتالدهيد مادة سامة لخلايا النبات وتسبب استمرار وموت كثير من الخلايا . وقد أطلق توماس Thomas (١٩٣١) على هذا النوع من التنفس اللاهوائى بالتنفس اللاهوائى غير العادى Carbon dioxide zymasis وذلك لاختلافه عن التنفس اللاهوائى العادى المعروف Anaerobic zymasis or anaerobic respiration

٦ — الضوء :

يظهر أن التجارب التي أجراها الباحثون في تأثير الضوء على عملية التنفس ليست من السهلة بحيث يمكن الاعتماد عليها في إظهار تأثيره في التنفس . ففي عام (١٨٨٤) وجد Bonnier & Mangin زيادة طفيفة في معدل تنفس النباتات المضادة : وقد استعملت نباتات خالية من المادة الخضراء في هذه التجربة حتى لا تعزى الزيادة في ثاني أكسيد الكربون الناتج إلى زيادة تركيز مادة التنفس الناتجة من عملية البناء الضوئى . وقد وجد أن معدل تنفس يادرات القمح في الضوء زاد زيادة طفيفة عنه

عندما تنفست البادرات في الظلام . وقد فسرت هذه الزيادة بأن الأكسجين تزداد قدرته على الأكسدة في الضوء عنه في الظلام .

وعندما استعملت الأوراق البيضاء لنبات الأرابيا *Arabis* وجد أن تعريضها للضوء ولو لفترة قصيرة زاد في معدل تنفسها ، وقد فسرت هذه الزيادة إلى تأثير الضوء الذي يزيد من نشاط الأنزيمات ونفاذية البروتوبلازم وبذلك تتوفر المادة اللازمة للتنفس ويزداد معدله .

وقد اتضح أن الضوء تأثيراً على تنفس النباتات العسارية (راجع تنفس النباتات العسارية) إذ أنه يسبب تحلل الأحماض العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء ويزداد تبعاً لذلك معدل التنفس .

٧ - تأثير إضافة بعض المواد الكيماوية :

لإضافة بعض المواد الكيماوية تأثير كبير على تنفس الخلايا . فقد وجد أن محاليل المخففة للأملاح المعدنية والأحماض غير العضوية تزيد من معدل تنفس الخلايا ووجد أنه عند إضافة محاليل مخففة جداً يتراوح تركيزها بين ٠.٠٠٥ - ٠.٠٦٪ من كبريتات الزنك وكبرور الحديد وكبرور المنجنيز زاد ذلك في معدل إنتاج فطر الأسرجلس لثاني أكسيد الكربون . وعندما استعملت النباتات الرقيقة وجد Lundegardh (١٩٣٣-١٩٣٧) وسعيد والشيشيني (١٩٤٠-١٩٤٤) وآخرون أن معدل تنفسها زاد زيادة ملحوظة عندما أضيفت إلى يثاتها محاليل الأملاح المخففة . كذلك وجد أن استعمال محلول مخفف من حامض الأزوتيك وأزوتات البوتاسيوم يزيد في معدل تنفسها . كذلك حدث نفس الشيء عندما زيدت قلوية محاليلها الغذائية أو عند تعريضها لبخار الفنادر .

وظهر أن حامض الأيدروسيانيك وكبريتور الأيدروجين وأول أكسيد الكربون ، توقف عملية التنفس ، وذلك بإبطال عمل أنزيمات الأكسدة . وكذلك تؤثر المواد المخدرة كالأثير والكلوروفورم على التنفس فتقلل من معدله . وبما هو جدير بالملاحظة أن تأثير هذه المواد يكون غير عكسي عند استعمالها بتركيزات عالية .

أما التركيزات المنخفضة فإنها تسبب زيادة في معدل التنفس ، الذي يستمر طالما وجدت هذه التركيزات. أما التركيزات المتوسطة فإنها تسبب زيادة مبدئية يعقبها انخفاض في معدل التنفس إلى درجة أقل من المعتاد وكلما زاد تركيز المادة المستعملة كان النقص سريعاً .

٨ — تأثير إحداث الجروح :

كان Boehm (١٨٨٦) أول من لاحظ تأثير الجروح على معدل التنفس ، فقد أوضح أنه عند تمطيع درنات البطاطس أدى ذلك إلى زيادة في معدل تنفسها . وفي عام (١٨٩١) أثبت Stich أن الزيادة في معدل تنفس درنات البطاطس المقطعة يمكن تقليله إلى أقل حد ممكن إذا غطيت الأسطح المقطوعة بالغراء أو لحت مع بعضها ثانية بمحلول الجيلاتين . وقد عزى Richards (١٨٩٦) هذه الزيادة في معدل التنفس الناتجة من قطع درنات البطاطس وغيرها من الأعضاء النباتية إلى سببين :
الأول : أن القطع يسبب سرعة خروج وانبعاث ثاني أكسيد الكربون الموجود في المسافات البينية وخلايا النباتات .

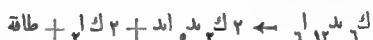
والثاني : أن عملية القطع نفسها أو إحداث الجرح لها تأثير في زيادة معدل تنفس النسيج المقطوع عند السطح وأن هذه الزيادة بلغت أقصاها بعد يومين ثم أخذت في الانخفاض التدريجي إلى أن أصبح التنفس عادياً وقد أوضح سعيد والشيخيني (١٩٤٧) أن عملية القطع تسبب تغيراً في حالة الخلايا المحيطة بالقطع مما يؤدي إلى زيادة معدل تنفسها . ومن تجارب Audus (١٩٤٠) أن القطع لا يؤثر في معدل تنفس النباتات إذا كانت الأنسجة محاطة بجو خال من الأكسجين وأن الزيادة في معدل التنفس إنما تعزى إلى الجانب التأكسدي من عملية التنفس وهذا لا يحدث إلا في وجود الأكسجين

العلاقة بين نوعي التنفس الهوائي واللاهوائي في النبات

The relation between aerobic and anaerobic respiration

رأينا مما سبق أن النباتات عندما تبعد عن الجو العادي ، فإنها تستمر في عملية التنفس إلى حين ، وتحصل على الطاقة اللازمة لها من تحليل جزئ الهكسوز إلى

الكحول وثاني أكسيد الكربون . وقد أطلق Kostyshev (١٩٠٢) على هذا النوع من التنفس « التنفس اللاهوائي » وأنه ليس ضرورياً عند مزاولة النباتات هذا النوع من التنفس أن ينتج الكحول وثاني أكسيد الكربون كنتائج نهائية للعملية . وقد تحدث في بعض النباتات طبقا للمعادلة :



فثلا في التنفس اللاهوائي لدرنات البطاطس قد لا يظهر الكحول إطلاقا ويفسر ذلك بأحد احتمالين :

الأول : إما أن الكحول ينتج طبقا للمعادلة السابقة ولكنه يستعمل مباشرة حال ظهوره في تفاعلات أخرى .

الثاني : أن العملية تسير في غير مجراها المعروف وتنتج مواد أخرى غير كحول الايثايل .

ولدعم الرأي الأخير - قام Kostyshev (١٩٠٢ - ١٩٠٤) بتربية فطر الأسبرجلس في بيئة تحتوى على مادة كربوإيدراتية وأخرى تحتوى على بيتون فلاحظ أنه في الحالة الأولى نتج من تنفس الفطر تنفسا لاهوائيا الكحول وثاني أكسيد الكربون ، أما في الحالة الثانية فلم ينتج الكحول في التنفس اللاهوائي . وعلى ذلك فإن عملية التنفس اللاهوائي في فطر الأسبرجلس تختلف باختلاف المادة الغذائية المستعملة .

وقد أوضح كثير من الباحثين أن الأسيدالدهيد وكثير من الأحماض العضوية كحامض الأكساليك والفورميك والخلليك تنتج ضمنا مع نواتج عملية التنفس اللاهوائي وبما يوحى بأن عملية التخمر الكحولى في فطر الخميرة والتنفس اللاهوائي في النباتات الراقية إنما هما عمليتان متشابهتان هو وجود معقد الزيميز الذى يسبب التخمر الكحولى في الخميرة في خلايا النباتات الراقية ، وأنه وإن لم ينتج الكحول في بعض عمليات التنفس اللاهوائي لبعض النباتات الراقية فإن ذلك يرجع الى أن العملية ربما توقفت عند مرحلة سابقة لإنتاج كحول الايثايل .

وقد درس كثير من العلماء علاقة التنفس الهوائى بعملية التنفس اللاهوائى ويمكن تلخيص ما وصلوا اليه من نتائج في النظريتين الآتيتين :

النظرية الأولى :

وأنصار هذه النظرية هم : Pfeffer (١٨٨٥) و Kostyshev (١٩٠٤) و Blackman (١٩٢٨) ومؤداهما أن التنفس يحدث على مراحل متعددة وأن هناك نواتج وسيطة تنتج بفعل أنزيم الزيميز . ففي الظروف اللاهوائية تسير هذه النواتج الوسيطة في طريقها المؤدى إلى إنتاج الكحول وثانى أكسيد الكربون أما في الظروف الهوائية فإن هذه النواتج الوسيطة تتأكسد بفعل أنزيمات التأكسد إلى الماء وثانى أكسيد الكربون (والشكل ٤٥) يوضح هذه النظرية .



(شكل ٤٥) بين العلاقة بين نوعى التنفس كما افترضها بلاكان وأنصار نظريته

ومن الحقائق التى دعمت بها هذه النظرية الملاحظات الآتية :

- ١ — يمكن Klein من فصل الاسيتالدهيد من أنسجة النباتات الراقية أثناء تنفسها تنفساً هوائياً وقد عرفنا أن هذه المادة تنتج أيضاً عند تنفس فطر الخيرة تنفساً لاهوائياً أثناء التخمر الكحولى .

٢ — لاحظ Kostyshev أن أنزيمات التأكسد تعجز عن أكسدة السكريات مباشرة ، إلا أنها تستطيع أكسدة نفس هذه السكريات إذا أضيف لها فطر الخيرة الذي ينشطها ويحللها الى نواتج وسطية يسهل على أنزيمات التأكسد أكسدتها .

٣ — عند إمداد البادرات التامية بالسكريات المتخمرة فإن معدل تنفسها يزداد عن معدل تنفس بادرات أخرى من نفس النوع تغذى بسكريات عادية . وذلك يدل على أن النباتات تفضل في تنفسها النواتج الوسطية لعملية التنفس عن السكريات الأصلية .

النظرية الثانية :

أما أنصار هذه النظرية فهم العلماء Lundsgaard (١٩٣٠) و Boysen-Jensen (١٩٣١) و Lipman (١٩٣٣) .

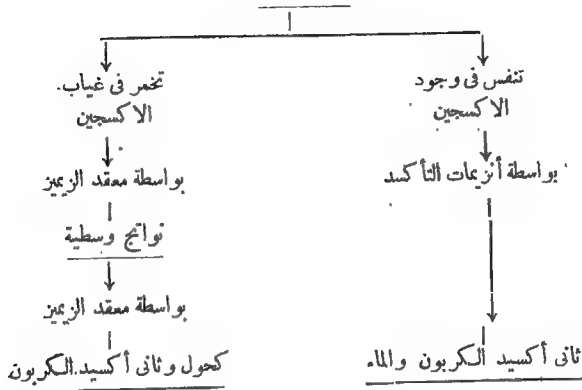
ويعتقد أنصار هذه النظرية أنه لا توجد علاقة ما بين أكسدة السكر الى ك_٢والماء في عملية التنفس الهوائى وبين انحلاله الى الكحول وثنائى اكسيد الكربون في عملية التنفس اللاهوائى أو التخمير الكحولى . وبناء ذك فإن انزيم معقد الزيمز مختص فقط بتحليل السكر الى الكحول وثنائى اكسيد الكربون في حالة غياب الأكسجين ، أما في حالة وجود الأكسجين فإن السكر يؤكسد الى ثنائى أكسيد الكربون والماء . يأنزيمات أخرى خلاف معقد الزيمز . ويمكن توضيح هذه العلاقة بالترسيم الآتى (شكل ٤٦) .

وقد بنى هذا رأى على ما يأتى :-

لاحظ Lundsgaard أنه عند إضافة مادة يودوخلات الصوديوم فإن ذلك يمنع عملية التخمير الكحولى منعاً تاماً . اما عند إضافة هذه المادة بنفس التركيز السابق الى الخيرة مع تهويتها فإنها تستمر في تنفسها الهوائى وان اليودوخلات في غياب ك_٢ تمنع تكوين النواتج الوسطية .

وبناء على هذه الاكتشافات اثبت Lundsgaard خطأ النظرية الاولى التى توحى بوجود العلاقة بين نوعى التنفس لعدم إنتاج النواتج الوسطية التى يتفرع منها نوعى التنفس .

مکسوزات



(شکل ۴۶)

العلاقة بين نوعي التنفس كما افترضها ليمان وأنصاره

إلا أن بلاكان وأنصاره لم يقفوا مكتوفي الأيدي أمام هذا التحدي . فقام أحد تلاميذه Turner (١٩٣٧) بدراسة تأثير يودوخلات الصوديوم على التنفس والتخمير في أقراص الجزر وفطر الخميرة وأوضح أن نظرية بلاكان ما زالت صحيحة وقائمة ، وأنه من السهل مناقشة نتائج Lundsgaard إذ أن تأثير مادة اليودوخلات على إيقاف عملية التخمير الكحولي إنما يقل في وجود الأكسجين . ففي إحدى تجاربه لاحظ أن عملية التخمير في أقراص الجزر لم تتأثر تأثراً يذكر عندما كان تركيز الأكسجين ٢١٪ وأنه عند إضافة اليودوخلات بتركيز بسيط فإن عملية التخمير أوقفت تماماً بعد مضي ٥ — ٦ ساعات في جو من الأزوت . أما عندما كان تركيز الأكسجين ٢١٪ فإن التخمير قل تدريجياً وبعد ٨ ساعات كان معدل النشاط قد قل ٩٥٪ عن نشاطه الأصلي . خلاص Turner من هذه النتائج إلى أن تأثير اليودوخلات في إيقاف إنتاج النواتج الوسطية يقل في وجود الأكسجين عند استهلاكها بتركيزات منخفضة .

أما عندما يكون تركيزها عالياً فإنها توقف عملية إنتاج النواتج الوسطية فتوقف عمليتي التنفس والتخمر معاً . وقد يكون الأكسجين سبباً في تقليل نقاذية الخلية لليودوخلات أو أنه يعطل تفاعل اليودوخلات مع بعض محتويات الخلية التي لو تفاعلت معها لتنتج عن ذلك وقف عملية إنتاج النواتج الوسطية .

والنتيجة هي أنه لا زالت هناك علاقة بين نوعي التنفس الهوائي واللاهوائي كما اقترحها بلاكان .

البناء التأكسدي Oxidative anabolism

في عام (١٩٢٣) أوضح Wieland أنه عندما تنفس النباتات في معزل عن الهواء ، فإنه ينتج من تنفسها ثاني أكسيد الكربون والكحول . فإذا نقلت هذه النباتات إلى الهواء أو الأكسجين فإن حوالي ٤٥ ٪ من الكحول الناتج نتيجة للتنفس اللاهوائي يتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء وأن ٣٥ ٪ منه يتأكسد جزئياً إلى حامض الخليك أما الباقي فيعاد بناؤه إلى المادة الكربوهيدراتية .

ويرى بلاكان (١٩٢٨) أن بعض النواتج الوسطية يعاد بناؤها إلى أصلها في وجود الأكسجين بطريقة سماها « البناء التأكسدي » وأن أكثر من ثلاثة أرباع هذه المركبات الوسطية يعاد بناؤها أما الباقي فإنه يسير في طريقه العادي لإنتاج ك_١ والماء .

ومما يعزز نظرية البناء التأكسدي أنه بتحليل النتائج التي حصل عليها من تنفس ثمار التفاح عند نقلها من الهواء الجوى إلى الأزوت (شكل ٤٣) لاحظ أن إنتاج ثاني أكسيد الكربون ارتفع فجأة وبسرعة واستمرت هذه الزيادة مدة ٧ — ١٠ ساعات حتى انتهى تأثير نقل الثمار من الجو العادي إلى الجو الأزوتي وأخذ المنحنى مجراه الطبيعي في غياب الأكسجين (تنفس لاهوائي . ت . ل) . وبواسطة مد منحنى التنفس اللاهوائي في الاتجاه العكسي استطاع بلاكان أن يبين معدل التنفس اللاهوائي وقت تحول الثمار من الهواء إلى الأزوت . وقد لاحظ في كل التجارب التي أجريت أن قيمة التنفس اللاهوائي عند نقطة الابتداء التي تصورها تعادل مرة ونصف مرة معدل التنفس الهوائي (ت . ه) للثمار عند نقطة التحول .

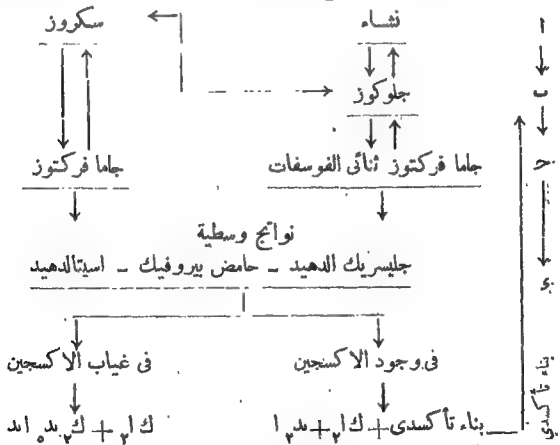
وحيث أنه في التنفس اللاهوائى يتحول $\frac{1}{2}$ الكربون في المادة الوسطية لعملية التنفس إلى ثانى أكسيد الكربون $\frac{2}{3}$ الكربون إلى كحول الايثايل ، فإن كمية كربون مادة التنفس المستهلكة في عملية التنفس اللاهوائى تساوى ثلاثة أمثال كمية الكربون الناتجة على صورة ثانى أكسيد الكربون .

وحيث أن كمية ثانى أكسيد الكربون الناتجة من التنفس اللاهوائى تساوى ١,٥ مرة مما ينتج منه في حالة التنفس الهوائى كما سبق إيضاحه فإن :

$$\text{كربون المادة المستهلكة} = ٣ (\text{ت. ل}) = ١,٥ \times ٣ (\text{ت. ه})$$

$$= ٤,٥ (\text{ت. ه})$$

ومعنى ذلك أنه لكي ننتج وحدة كربونية واحدة على صورة ثانى أكسيد الكربون في عملية التنفس الهوائى لا بد أن يسبقها تحلل ٤,٥ وحدة كربونية من مادة التنفس . وعلى ذلك فإنه مقابل خروج وحدة كربونية كشانى أكسيد كربون يعاد بناء ٣,٥ وحدة كربونية . أى أن كمية الكربون المعاد بناؤها في عملية البناء التأكسدى تساوى ٣,٥ مرة قيمة الكربون الناتج على هيئة ثانى أكسيد الكربون في التنفس الهوائى .



(شكل ٤٧) التنفس في النباتات كما يتصوره بلاكان

فإذا فرضنا أن (١) تمثل المادة الكربوايدراتية التي نستهلك في عملية التنفس (نشاء أو سكروز) فإنها تتحلل تحليلًا مائياً إلى هكسوزات (ب) ثم تنشط هذه الهكسوزات لتتحول في النهاية إلى جلما فركتوز (ج) ثم تبدأ عملية الأكسدة فتنتج النواتج الوسطية (د) تحتوي على ذرتين أو ثلاثة ذرات من الكربون مثل (جليسريك الدهيد وحامض البيروفيك والاسيتالدهيد) وتدخل هذه المواد في آخر مرحلة من مراحل التفاعل . ويتوقف طريق سلوكها في التفاعل على وجود أو غياب الأكسجين . ففي غياب الأكسجين فإن هذه النواتج الوسطية تتحلل نهائياً إلى ثاني أكسيد الكربون وكحول الإيثايل . ويمكن قياس معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون . وعند حسابه نجد أنه لكل ذرة من الكربون نتجت على صورة ثاني أكسيد الكربون يقابلها إفراز ذرتين من الكربون في أنسجة النبات على صورة كحول الإيثايل .

أما في وجود الأكسجين الجوي أو الأكسجين بدرجات مختلفة من التركيز فإن التنفس يسلك طريقاً آخر ، فإذا كان تركيز الأكسجين كافياً فإن جميع النواتج الوسطية (د) تتأكسد وتعطى (ك + ل + م + ن) + البناء التأكسدي . ولا يوجد في هذه الحالة أي أثر للتنفس اللاهوائي ومنتجاته .

وتسمى درجة تركيز الأكسجين التي يتوفر عندها الأكسجين اللازم لأكسدة النواتج الوسطية أي التي يكون فيها قدر الأكسجين كافياً بالضبط لأكسبتها والتي يكون جميع ثاني أكسيد الكربون الناتج فيها من عملية التنفس الهوائي فقط بـ نقطة الانتهاء للتنفس اللاهوائي « Extinction point of anaerobic respiration »

أما إذا لم يكن تركيز الأكسجين كافياً لأكسدة (د) فإن بعض النواتج الوسطية تتأكسد معطية (ك + ل + م + ن) + البناء التأكسدي ويكون ثاني أكسيد الكربون الناتج خليطاً من (ت . هـ) و (ت . ل)

أما إذا زاد تركيز الأكسجين عن التركيز اللازم لأكسدة (د) - كأن يكون تركيزه أكثر تركيز الأكسجين الجوي (٢٠٪) تقريباً ، فإن الزيادة في الأكسجين تزيد في سرعة إنتاج المواد الوسطية (د) وهذه بالتالي تزيد من سرعة الأكسدة فيزيد معدل التنفس تبعاً لذلك .

الباب العاشر

انتقال المواد الذائبة

Translocation of Solutes

لما كانت المواد الغذائية والماء تنتقل بين خلايا النبات ، اتضح أهمية دراسة الطريق الذى تسلكه هذه المواد فى أنسجة النبات لىكى تنتقل من مكان يتوفر فيه وجودها إلى مكان آخر تدعو الحاجة إليها ، أو إلى أماكن تخزينها .

وقد اتضح من تجارب تحليل الأوراق ، أن ما يصنع فيها من مواد غذائية كالمواد الكربوهيدراتية والأزوتية العضوية تكون من الكثرة بحيث تزيد عن احتياجاتها . لذلك فإن هذه المواد الزائدة عن الحاجة تنقل إلى حيث تستهلك فى أماكن أخرى أو تخزن فى أماكن التخزين إما بصفة مؤقتة أو بصفة دائمة .

ولما كانت معظم المواد التى يتم صنعها فى الأوراق وبعض الأجزاء الأخرى من النبات معقدة التركيب كالنشاء والبروتين ، وكل هذه المواد غير قابلة للانتقال والتحرك بين خلايا وأنسجة النبات نظراً لكبر وحداتها ، فإنه لىكى يتم نقلها لابد أن تتجزأ أو تتحلل إلى مركبات بسيطة ذائبة . كأن يتحول النشاء إلى سكريات بسيطة ، والبروتينات إلى أحماض أمينية ، وذلك لىكى يسهل نقلها إلى مراكز التخزين أو الاستهلاك حيث تستهلك بصورتها البسيطة التى نقلت عليها (كأن يستخدم السكر فى التنفس أو بناء أعضاء جديدة) أو تخزن إما على صورتها البسيطة التى نقلت عليها كما فى حالة تخزين سكر الجلوكوز فى ثمار العنب ، أو تتكاثف تكاثفاً بسيطاً كأن يتكاثف جزئياً من سكر الجلوكوز وجزئياً من سكر الفركتوز لىكونا جزئياً من السكروز ويخزن على هذه الصورة كما فى حالة جذور البنجر وسيقان قصب السكر ، أو تتكاثف هذه المواد البسيطة المنقولة تكاثفاً كبيراً لتعود إلى الصورة التى كانت عليها قبل تحليلها

وانتقالها فيتكاثف الجلو كوز إلى الذئاء ، ويخزن على هذه الصورة في السوق الدرنية للبطاطس والجذور الدرنية للبطاطا وتتكاثف الأحماض الأمينية لتعطى جزئى البروتين المعقد فى البنور مثلا . وغنى عن الذكر أن عمليات التحلل والتكاثف التى سبق الإشارة إليها إنما تحدث بوساطة أنزيمات الخاصة .

وقبل عام (١٩٢٠) كان رأى المتفق عليه أن الخشب هو طريق العصارة الصاعدة وأن اللحاء هو طريق العصارة النازلة . وفى عام (١٩٢٠) أوجد Curtis نظريته القائلة بأن اللحاء هو الطريق الذى تسلكه المواد الذائبة فى صعودها وفى نزولها . إلا أنه فى عام (١٩٢٢) نادى Dixon وآخرون بعدم صلاحية اللحاء تماما لهذا الغرض وأن الخشب هو الطريق الرئيسى للعصارة الصاعدة والنازلة .

يتضح إذن من هذه الآراء المتضاربة أنه لا بد من عمل دراسية لهذا الموضوع حتى يمكن القطع برأى فيه . ومن أحدث الأبحاث التى عملت فى هذا الصدد هى أبحاث Munch (١٩٢٦) ، Crafts (١٩٣١) ، Mason & Maskell (١٩٢٦ - ١٩٣٤) التى أظهرت أن المواد الذائبة العضوية تتحرك فى الاتجاهين خلال اللحاء وأن الأملاح المعدنية تتحرك إلى أعلى خلال أوعية الخشب .

وتعتبر الأبحاث التى قام بها Mason & Maskell (١٩٢٨ - ١٩٣٤) ، Mason & Phillis (١٩٣٣ - ١٩٣٦) من أحسن الأبحاث التى عملت فى هذا الصدد فيما يختص بانتقال المواد الكربوهيدراتية والأزوتية والمعدنية بين خلايا وأنسجة النبات .

انتقال المواد السكر بوابرانية :

قام Mason & Maskell بتحليل أنسجة الأعضاء المختلفة لنبات القطن لتقدير الكربوهيدرات بأنواعها . وأظهرت نتائج التحليل أن السكروز لا يوجد فى خلايا فصل الأوراق وأن ما تحتوى هذه الخلايا من المواد الكربوهيدراتية إنما يوجد على حالة سكريات مخزنة نتيجة لعملية التمثيل الكربونى ، بينما تحتوى الأنايبب الغربالية

في عروق الأوراق على نسبة مرتفعة من السكروز ونسبة ضئيلة من السكريات المخزلة وقد عزی وجود السكروز في الأنايب الغربالية إلى تحول السكريات المخزلة إلى السكروز في الخلايا المرافقة حيث يزداد تركيزه ثم ينساب منها إلى الأنايب الغربالية. ويبدو أن السكروز هو المادة الكربوهيدراتية الأساسية القابلة للانتقال بين خلايا وأنسجة النبات لأنه يتغير تركيزه باستمرار في الخلايا ، وأنه ينقل من الورقة إلى الساق ومنه إلى الجذر خلال اللحاء . وعندما أزيلت الأوراق العليا من الساق وترك الأوراق السفلى فإن السكروز انتقل من أجزاء الساق المورقة إلى أعلى الساق في الأجزاء التي لا تحتوي على الأوراق وهذا يثبت أن السكروز يتحرك إلى أسفل وإلى أعلى خلال اللحاء .

وعندما أجريت عملية التحليق Ringing في الساق بأن أزيلت جميع الأنسجة التي خارج اسطوانة الخشب بارتفاع ٢ سم ، سبب ذلك زيادة تركيز السكروز فوق الحلقة واختفاء جميع أنواع السكريات أسلفها ، مما يثبت أن السكروز لا ينتقل إلا عن طريق اللحاء وأن إزالته عند التحليق لم ينفذ السكروز خلال أوعية الخشب . ومن الحقائق المعروفة أن الخشب يحتوي على نسبة من السكريات الذائبة مما دعى إلى الظن فيما مضى أن السكر ينتقل من الأوراق مباشرة إلى أوعية الخشب . إلا أن الأبحاث الحديثة أظهرت بصفة قاطعة أن هذه السكريات تنتقل من اللحاء في اتجاه عرضي إلى الخشب .

ويتلقى الساق والجذر امدادات كبيرة من السكر تفوق كثيراً احتياجاتها ولذلك فإن أكثر هذا السكر يخزن في هذه الأعضاء . وعندما تتكون البراعم الزهرية واللوزات فإن هذا السكر ينتشر خلال اللحاء ويقابل تيار السكر المرسل من الأوراق ويتجه جميع السكر إلى هذه الأعضاء المتكونة حديثاً لإمدادها بما يلزمها من هذه المواد الغذائية ، وفي نفس الوقت يتمتع وصول السكر إلى الجذور من هذه الامدادات السكرية فيوقف نموها تدريجياً .

انتقال المواد الذائبة :

أوضحت نتائج الأبحاث التي بها Mason & Maskell أن انتقال وحركة المواد

الأزوتية أكثر تعقيداً منها في حالة المواد الكربوهيدراتية . فقد وجد أن المواد الأزوتية القابلة للانتقال هي الأحماض الأمينية والبيتيدات . أما الأسباراجين فهو غير قابل للحركة . وقد دل تحليل الأوراق على احتوائها على نسبة عالية من الأحماض الأمينية والبيتيدات وعلى تسبة ضئيلة من الأسباراجين وكلما ابتعدنا عن الورقة قل تركيز الأحماض الأمينية والبيتيدات وزاد تركيز الأسباراجين .

وقد أوضح هذا العالمان أن الأحماض الأمينية والبيتيدات تنتقل من الأوراق إلى الساق ومنها إلى الجذر تماماً كما في حالة انتقال السكروز . إلا أن حركة انتقالها لا تبدو واضحة نظراً إلى تخزين ما يزيد عن حاجة هذه الأعضاء من هذه المواد على صورة أسباراجين في خلايا القشرة والأشعة النخاعية ويكون تخزينها بدرجة كبيرة في الجذور ولكن عند إجراء عملية التحليق فإن الانتقال يبدو أكثر وضوحاً حيث تراكم المواد الأزوتية المنتقلة فوق منطقة التحليق .

وقد أوضح Mason & Phillis (١٩٣٤) أنه عندما تتسكون الأزهار واللوزات فإن المركبات الأزوتية المخزنة تسحب بسرعة من الأجزاء الخضرية من النبات ويكون انسحابها من الأجزاء السفلى من النبات بمعدل أكبر منه من الأجزاء العليا، وتسلك المركبات الأزوتية التي تنتقل إلى الأزهار واللوزات نفس الطريق الذي يسلكه السكروز . ومن الملاحظ أنه عندما يمنع وصول المواد الأزوتية إلى الجذر أثناء النمو الخضري نتيجة لنقص المركبات الأزوتية التي يمتصها الجذر من التربة فإن الأسباراجين الذي يكون مخزوناً في الجذر لا يسحب إلى مناطق النمو الطرفية في الساق لتعويض النقص الأزوتي الناتج من نقص تغذية النبات بالمركبات الأزوتية . ولكن عند ظهور الأزهار واللوزات فإن هذا الأسباراجين سرعان ما يتحلل وينقل إليها .

انتقال العناصر المعدنية :

يحتاج نبات القطن إلى عناصر الأزوت والفوسفور والبوتاسيوم في الفترة الأولى من نموه . فإذا منعت عنه هذه العناصر بعد ذلك فإن نموه لا يكاد يتأثر . أما

الكالسيوم فإنه يحتاج إلى امدادات منه طول فترة نموه ، ولا بد من توفره لكي يستمر في النمو .

وقد أوضحت التجارب أن العناصر الثلاثة الأولى تنقل إلى أعلى خلال أوعية الخشب حيث تصل إلى الأوراق ويعود بعضها إلى أسفل عن طريق اللحاء . إلا أن هذه العناصر يمكن إعادة نقلها إلى أعلى عن طريق اللحاء كما في حالة السكريات والمواد الأزوتية العضوية .

أما فيما يخص بالكالسيوم فإنه يشذ عن هذه القاعدة لأنه يبدو أنه يتوزع أثناء حركته إلى أعلى في أوعية الخشب وعندما يصل إلى الخلية فإنه لا ينتقل منها ثانية . ويشاهد كثيراً وجود بلورات من أكسالات الكالسيوم في خلايا أشعة اللحاء ولكن ليس هناك أى دليل على وجودها في الأنابيب الغربالية .

وعند إزالة اللوزات يلاحظ زيادة محتوى النبات من العناصر والسكريات والمركبات الأزوتية العضوية في الساق .

تكوين الكالاس Callus formation

عند اجراء عملية التحليق في تجارب الانتقال أو عند استعمال الضغط الشديد على



الساق بدلا من التحليق (شكل ٤٨) يلاحظ حدوث انتفاخ فوق منطقة التحليق أو الضغط ، هذا الانتفاخ يحدث نتيجة لاحتجاز وتراكم المواد الغذائية التي تكونت في الأوراق وانتقلت منها إلى الأنابيب الغربالية في الاتجاه السفلي .

وكثيراً ما تستخدم طريقة (١) (شكل ٤٨) (ب) بالضغط

الضغط لتنشيط تكون الأزهار تكوين الكالاس (١) بالتحليق (ب) بالضغط والنماز لأنه عند الضغط تحجز المواد الغذائية النازلة إلى أسفل أجزاء النبات وتوفر للأجزاء العليا فينشط تكوين الأزهار ويسرع نضج الثمار .

الباب الحار عشرين

انبات البذور

Germination of Seeds



إذا توفرت جميع العوامل اللازمة للإنبات من ماء ودرجة حرارة وأكسجين فإن جنين البذرة يبدأ في الإنبات فيتكون الجذير الذي يخترق القشرة ويأخذ طريقه إلى أسفل مخترقاً حبيبات التربة ويعقب ذلك خروج الريشة مخترقة غطاء التربة لتظهر فوق سطح الأرض . فمن الجذير يتكون المجموع الجذري ومن الريشة يتكون المجموع الخضري .

إلا أن هناك بعض أنواع من البذور لا يكفي لإنباتها أن تتوفر الشروط اللازمة للإنبات من ماء ودرجة حرارة وأكسجين . فبذور النباتات المتطفلة كبذور المالحوك *Orobanch* والحامول *Cuscuta* والعدار *Striga* لا تنبت إلا إذا وجد بجوارها العائل . وأكثر من ذلك أن بعضها لا ينبت إلا بعد أن تنبت بذور العائل وتبلغ النباتات درجة خاصة من النمو عندها تبدأ بذور هذه النباتات المتطفلة في الإنبات . ويبدو أن العائل أثناء نموه يفرز في التربة بوساطة مجموعته الجذري بعض المواد التي تنبذ بذور النباتات المتطفلة فتنبت وتصيب العائل وتتطفل على جذوره (كما في حالة المالحوك) أو على سوقه (كما في حالة الحامول) .

العوامل المؤثرة لنجاح الإنبات :

١ - الماء :

تحتوى البذور الجافة هوائياً على نسبة من الماء تتراوح بين ١٠ - ١٢ ٪ ولا بد أن تمتص كمية مناسبة من الماء حتى يمكن لإنباتها . وتمتص البذور الماء من

جميع أجزاء سطحها وليس من النقيض فقط كما قد يعتقد البعض بدليل أنه عند تغطية النقيض بالشمع المنصهر فإن البذرة تمتص الماء ويزداد حجمها .

وتمتص البذور كميات كبيرة من الماء . وتختلف كمية الماء الممتصة باختلاف نوع أو صنف النبات . فمثلاً تمتص بذور النباتات البقولية من الماء أكثر مما تمتصه الحبوب .

ويرجع امتصاص البذور للماء إلى تشرب الغرويات المتصلبة Hydrogels التي تتكون منها أجزاء الجنين بالماء والتي عندما تمتص الماء يتحول بروتوبلازم الجنين إلى نوع من الغرويات السائلة Hydrosols وتكبر الخلايا وتتكون بها الفجوات التي تتكون فيها مواد ذاتية كالكسكريات والأملاح . وهذه المواد تزيد من قيمة الضغط الأزموزي للفجوة الخلوية وتمتص الخلايا الماء بقوة الامتصاص علاوة على امتصاصه بقوة التشرب .

وتسلك البذور في امتصاصها للماء مسلك الغرويات المتصلبة Gels تماماً كالغرام والجيلاتين والنشاء والشمع . فإذا أخذ حجان من الماء والغروى المتصلب ومزجاً فإن حجم الخليط الناتج يقل عن حجمها معاً ، وكذلك الحال في البذور فإن الزيادة في حجم البذور نتيجة لتشربها بالماء تقل عن حجم الماء الممتص . ولإظهار هذه الخاصية توضع بغد البذور المجروشة أو النشاء في زجاجة وتملأ بالماء وتسد بسدادة من المطاط تخترقه أنبوبة زجاجية بحيث يرتفع الماء في هذه الأنبوبة وتوضع علامة على مستوى الماء فيها ، وتترك بعض الوقت فيلاحظ أن مستوى الماء في الأنبوبة قد انخفض عن المستوى الأول . على أنه ليس من السهل تفسير هذه الظاهرة .

وثمة ظاهرة أخرى تصحب عملية التشرب بالماء فإن درجة حرارة المادة المتشربة بالماء ترتفع عن درجة الحرارة العادية . ويمكن إثبات هذه الظاهرة أيضاً عند مزج بعض الحبوب أو النشاء بالماء فإنه يلاحظ انبعاث قدر من الحرارة عند حدوث التشرب .

٢ — الحرارة :

تؤثر الحرارة في سرعة امتصاص البذور للماء ولكنها لا تؤثر في كمية الماء الممتصة . فمثلاً عند وضع مجموعتين من البذور المتجانسة في الماء على درجتين مختلفتين من الحرارة فإن البذور الموضوعة في الماء الأكثر حرارة تمتص الماء أسرع من الموضوعة في ماء منخفض الحرارة . ولكن إذا تركا مدة كافية فإن كمية الماء الممتصة نهائياً تكون واحدة . وقد وجد أن المعامل الحراري لعملية امتصاص البذور للماء يكون قريباً جداً من الرقم ٢ الذي يساوي في قيمته المعامل الحراري للتفاعلات الكيميائية . ويبدو أنه أثناء الانبات تحدث بعض التغيرات الكيميائية في المحتويات الغروية للبذرة تنشطها الحرارة علاوة على ما للحرارة من تأثير على تقليل درجة لزوجة الماء فتزداد درجة نفاذه إلى البذور كما يساعد رفع درجة الحرارة على تقليل مقاومة اختراق الجذير للقشرة .

وما هو جدير بالملاحظة أن لسلك نوع من البذور درجة حرارة صغرى إذا انخفضت عنها فإنها لا تنبت ، كما أن لها درجة حرارة قصوى لا تنبت البذور إذا تعدتها لموت البروتوبلازم فوق هذه الدرجة . وبين هاتين الدرجتين توجد درجة الحرارة المثلى والتي عندها يبلغ الانبات والنمو أقصاه . وللمدة التي تعرض فيها البذور لدرجات الحرارة العالية تأثير كبير على الانبات . فقد أوضح F. F. Blackman أن تعريض البذور أثناء انباتها لدرجة عالية من الحرارة قد يسرع في عملية الانبات ولكن البذور الثابتة سرعان ما تموت من تأثير الحرارة العالية . وعلى ذلك فيمكن تعريف درجة الحرارة المثلى بأنها أعلا درجة من الحرارة عندها يحدث الانبات بدون الاضرار بالبادرات مع مرور الوقت .

٣ — الضوء :

للبنور حساسية شديدة للضوء عند إنباتها . وتنقسم البذور من هذه الناحية إلى ثلاثة أقسام :-

القسم الأول : وتسمى بذور هذا القسم « بالبذور الحساسة للضوء » Light sensitive seeds « وتميز بذور هذا القسم بعدم قدرتها على الانبات إلا بعد تعريضها للضوء ولو لفترة قصيرة . ومن أمثلتها بذور شجرة عيد الميلاد Mistletoe وبعض أفراد العائلة Crassulaceae وغيرها .

القسم الثاني : وتسمى بذور هذا القسم « بالبذور الحساسة للظلام » Dark sensitive seeds « ويلزم لإنبات بذور هذا القسم ألا تتعرض للضوء أثناء انباتها ومن أمثلتها بعض أفراد عائلة عرف الديك Amaranaceae والحبة السوداء Nigella setiva وبعض أنواع جنس البصل Allium .

القسم الثالث : ليس للضوء أو الظلام تأثير على إنبات بذور هذا القسم فهي تنبت فيهما على السواء . فثلاً بذور الدخان تنبت بنجاح عند تعريضها للضوء أو للظلام على حد سواء إلا أن الضوء يساعد على سرعة إنباتها .

ويبدو أن الحرارة تأثير معقد على حساسية البذور للضوء والظلام . ويمكن القول بأنه في حدود درجات الحرارة المناسبة للإنبات تساعد درجات الحرارة العالية على إنبات البذور الحساسة للضوء في الظلام كما تساعد درجات الحرارة المنخفضة على إنبات البذور الحساسة للظلام في الضوء والجدول التالي [ماخوذ عن Stiles (١٩٣٦)] يبين هذه العلاقة .

النسبة المئوية للإنبات		درجة الحرارة	طبيعة البذور
في الظلام	في الضوء		
٧,٥	٧٨,٥	٢٠°م	حساسة للضوء
٥٣,٥	٦٧,٥	٣١°م	
٧٤,٥	١,٥	٢١°م	حساسة للظلام
٩١,٥	٨١,٥	١٠,٥°م	

ويتأثر إنبات البنور الحساسة للضوء والظلام ببعض المواد الغذائية التي توجد في بيئة الإنبات . فمثلا إذا عوملت البنور الحساسة للضوء 'بالانزيمات البروتينية أو أضيف إليها محلول غذائي يحتوي على النترات أو الأحماض المخففة جداً ($\frac{س}{٢٠٠}$ إلى $\frac{س}{١٠٠٠}$) فإن ذلك يساعد على الإنبات في الظلام . ويظهر أن الضوء والمواد الغذائية تأثيرات إضافية على الإنبات . والجدول الآتي يبين تأثير المحاليل الغذائية و محلول نوب ، على إنبات بذور *Ranunculus scleratus* بمقارنته بالماء المقطر .

المحلول الغذائي	حالة الإضاءة	النسبة المئوية للإنبات
ماء مقطر	الظلام	٠,٧
محلول نوب Knop	ضوء النهار	٢٨,٠
	الظلام	٥٥,٠
	ضوء النهار	٨٦,٠

وقد وضعت عدة نظريات لتوضيح تأثير الضوء على إنبات البنور الحساسة للضوء ولكن اتضح أن هذه النظريات لا تنطبق على جميع الحالات ، وأن للضوء تأثيرات مختلفة في الحالات المختلفة . فمثلا عند إنبات البنور الحساسة للضوء عند تعريضها له لفترة قصيرة فإن ذلك يسبب إطلاق بعض التفاعلات اللازمة لنجاح الإنبات . ويرى Crocker & Davis (١٩١٤) أنه في الحالات التي يكون لاستعمال الأحماض المخففة نفس تأثير الضوء أن كلا من الضوء والأحماض يغيران من طبيعة قصرة البنور فتجعلها أكثر نفاذية . ولإنبات ذلك أنه عند إزالة قصرات بذور النباتات الحساسة للضوء أمكن إنباتها في الظلام .

٤ — تركيز الأكسجين حول البنور :

تحتاج البنور إلى نسبة خاصة من الأكسجين لنجاح الإنبات . فإذا قلت هذه

النسبة أو انعدام الأكسجين فإن البذور لا تنبت . ولبذور النباتات المائية القدرة على الإنبات تحت سطح الماء لأنها تكون عادة دقيقة الحجم بحيث تجد كفايتها من الأكسجين القليل الذائب في الماء إلا أنه إذا زيد تركيز الأكسجين في الماء فإن نسبة انباتها تزداد .

بعض بذور النباتات المائية لا تنبت في الماء المقطر حتى عند اذابة الأكسجين في هذا الماء مثل بذور نباتات *Potamogeton, Alisma, Sagittaria* . إلا أنه يمكن لمثل هذه البذور أن تنبت في الماء إذا أضيف اليه بعض أنواع خاصة من البكتريا . والمعتمد أن هذه البكتريا تسبب حموضة أو قلوية يثبتها بما تفرزه من افرازات تسبب انبات هذه البذور . وقد أثبت التجارب أنه عند استعمال الأحماض والقلويات بتركيزات منخفضة أمكن لهذه البذور أن تنبت في الماء المقطر .

هـ — الحالة التي عليها البذور :

لوحظ أنه في بعض البذور — رغم توفر جميع الشروط اللازمة لانباتها — أنها تعجز عن الانبات وتظل « كامنة » Dormant ويطلق على مثل هذه الحالة « الكون» Dormancy وتظل البذور على هذه الحالة من الكون فترة من الزمن تختلف حسب حالة البذور .

ويعزى كون البذور إلى سببين :

الأول : أن يكون الجنين غير كامل التكوين كما في حالة بعض أفراد جنس « الشقيق » *Ranunculus* ولا بد لكي تنبت هذه البذور بنجاح أن تمضي فترة من الوقت تسمى بفترة « بعد النضج » بعد انفصالها من نباتاتها حتى يكمل تكوين الجنين الناقص ويستعد للانبات في الموسم التالي . أو يكون الجنين كامل الأعضاء ولكن ينقصه حدوث بعض التحولات في غذائه المدخر حتى تصبح مستعدة لعمليات التحول الغذائي عند الإنبات ، ويستغرق إتمام هذه التحولات بعض الوقت نشط فيه الأنزيمات لتقوم بهذا التحول المطلوب . ويمكن تقصير هذه الفترة بتنشيط عمل هذه الأنزيمات بأن ترفع درجة حرارة هذه البذور الى الدرجة المناسبة لتنشيطها أو بمعاملة الأجنة ببعض الأحماض المخففة التي توفر الدرجة المناسبة من الحموضة لعمل الأنزيمات .

الثاني : أن تكون قصرات هذه البذور السكامة من الصلابة بحيث لا تسمح للبلل أو الغازات بالنفاذ منها بسهولة كما في بعض نباتات العائلة البقولية *Leguminosae* والشفوية *Labiatae* والحبابية *Malvaceae* . ولإسراع إنبات مثل هذه البذور فإنه يجب معاملتها بإحدى الطرق الآتية حتى يسهل وصول الماء والأكسجين إلى أجزاء الجنين :

- ١ - إما بإزالة كل القشرة أو بعضها لإزالة ميكانيكية تقصر المدة اللازمة للإنبات .
- ٢ - معاملة البذور معاملة خاصة بأحد الأحماض التي من شأنها أن تذيب القشرة أو تفككها بدون الإضرار بحيوية الجنين . ويستعمل لذلك حامض الكبريتيك بتركيزات خاصة ولمدد معلومة تختلف باختلاف نوع البذور ودرجة حساسيتها ، أو تعامل البذور بالحرارة أو البرودة أو ببعض الغازات الخاصة . فقد وجد أن غمر البذور ذات القشرات الصلبة في ماء يغلي لمدة ٣٠ - ٦٠ ثانية ، بعد نقعها في الماء البارد لمدة ١٢ ساعة يساعد كثيراً على سرعة إنباتها . وقد وجد أن تخثر البذور ذات القشرات الجافة في درجة عالية من الرطوبة يساعد على إنباتها ، إلا أن ذلك يقلل من حيويتها .

التغيرات الكيميائية والحيوية التي تحدث عند إنبات البذور :

تخزن البذور الغذاء في أجزائها المختلفة على صورة مواد غذائية معقدة من المواد الكربوهيدراتية والدهنية والأزوتية . وعند الإنبات تتحلل هذه المواد المعقدة إلى مركبات غذائية بسيطة ذائبة وتنتقل هذه المواد إلى مناطق النمو حيث تكون الحاجة إليها شديدة لتكوين الخلايا والأنسجة الجديدة ولتتج كذلك الطاقة التي يستعملها النبات في مرافقه الحيوية كما سبق أن ذكرنا في التنفس .

ففي البذور النشوية - كالذرة والقمح مثلاً - يتحلل النشاء إلى سكر الجلوكوز بواسطة أنزيم الأميليز ، ومن سكر الجلوكوز يتكون الفركتوز والسكروز . ويتحلل بعض هذا السكر الناتج إلى ثنائي أكسيد الكربون والماء أثناء عملية التنفس ، أما الباقى فيستعمل في بناء الجدر الخلوية ونسكون البروتوبلازم في الخلايا والأنسجة

الجديدة ، وتخزن بذور البلح أغلب غذاءها المدخر على هيئة هيميسيلولوز Hemicellulose وعند الإنبات يعمل أنزيم السايين Cytase على تحليله إلى السكريات الذائبة التي تستعمل في بناء الخلايا والأعضاء الجديدة تماما كما يحدث عند إنبات بذور الذرة والتمح .

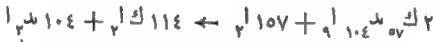
أما البذور البروتينية - كبذور الترمس - فإنه عند إنباتها يتحلل البروتين بواسطة الأنزيمات البروتيوليتية إلى مركبات أوتية ذائبة أهمها الأحماض الأمينية والأميدات ، ثم تتقل هذه المركبات الأوتية الذائبة إلى مناطق النمو والنشاط حيث يعاد بناؤها لتكوّن البروتينات والبروتوبلازم في الخلايا الجديدة . وإذا لم تتوفر المادة الكربوايدراتية للتنفس فإن بعض الأحماض الأمينية تنزع منها المجموعة الأمينية وتؤكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء أثناء التنفس .

وفي حالة البذور الزيتية - كبذور الخروع مثلا - فإن الدهن يتحلل بواسطة أنزيم اللابسين Lipase إلى الجليسرين والأحماض الدهنية . أما السكريات فإنها تبدأ في الظهور ويزيد تركيزها في خلايا البادرة أثناء تحلل هذه المركبات الدهنية . والمتفقد أن الجليسرين وبعض الأحماض الدهنية تتحول إلى سكريات أثناء الإنبات . وبما يعزز هذا الرأي تلك النتائج التي حصل عليها Stiles and Leach (١٩٣٣) أثناء دراستهما لمعامل التنفس أثناء إنبات هذه البذور . فقد لاحظا أنه في أول الإنبات كان معامل التنفس (م . ت) مساويا للوحدة وبعد ٧ ساعات من بدء الإنبات أصبح ٠,٨ . وأخذ (م . ت) بعد ذلك في النقصان حتى أصبح ٠,٥ بعد ١٢ ساعة من بدء الإنبات وأعقب ذلك إرتفاع آخر . وقد فسرت هذه التجارب على الوجه الآتي :

تحتوي بذور الخروع على حوالي ٢٪ مادة كربوايدراتية ٦ حوالى ٥٠٪ مادة دهنية كغذاء مدخر وعلى ذلك فإنه عند إنبات البذور استهلك الكربوايدرات أولا في التنفس وهذا هو السبب في أن (م . ت) كان مساويا للوحدة . وبعد مضي ٧ ساعات وعندما أخذ تركيز الكربوايدرات في القلة استعمل للنبات في تنفسه بعض المادة الكربوايدراتية والدهنية وانخفض (م . ت) إلى ٠,٨ تقريبا . وعندما

استهلك السكر تماماً فإن النبات استعمل المواد الدهنية فقط في تنفسه وبلغ (م . ت)
تبعاً لذلك ٠,٧ . بعد ذلك استعمل جانب من الغذاء الدهني لتكوين السكريات . وحيث
أن هذا التحول يقتضى استعمال بعض الأكسجين بدون خروج ما يعادله من ثاني
أكسيد الكربون فإن معامل التنفس انخفض بدرجة كبيرة وأصبح ٠,٥ . وهي أقل
كثيراً من معامل التنفس للمواد الدهنية .

والدهن في بذور الخروع هو ثلاثي جلسريد لحمض الريسينوليك Triglyceride
of ricinolic acid (ك٠٧ بد ١٠٤) وعند أكسدة هذا المركب أكسدة تامة أثناء
عملية التنفس فإننا نحصل على :



$$\therefore \text{معامل التنفس} = \frac{١١٤}{١٥٧} = \frac{١ \text{ ك}}{١,٧٣} = ٠,٧٣$$

أما إذا تحول هذا المركب الدهني إلى سكريات فإننا نحصل على :



فإذا استعمل النبات جزيئين من الدهن في تنفسه مقابل تحويل جزيئين آخرين

$$\text{منه إلى مواد سكرية فإننا نحصل على معامل تنفس مساوياً } ٠,٥٧ = \frac{١١٤}{٤٣ + ١٥٧}$$

وهي تقارب قيمة معامل التنفس في بذور الخروع في المرحلة الأخيرة .

فترة حيوية البذور Life span of seeds

لبذور النباتات القدرة على تحمل الظروف غير الملائمة محتفظة بحيويتها مدة من
الزمن تختلف باختلاف نوع البذور . ولكن إذا وضعت مدة طويلة في هذه الظروف
فإنها تفقد حيويتها تدريجياً وينتهي الأمر بموتها . فمثلاً إذا لم تصادف بذور الصفصاف
Salix بيئة رطبة لإنباتها بعد انتشارها مباشرة من ثمرتها فإنها بتعرضها للهواء الجاف
تفقد حيويتها وتموت . بينما تحتفظ بذور الحور Populus بحيويتها عدة أسابيع . أما
بذور البقوليات ففترة حيويتها طويلة وتقدر بأكثر من ١٥ سنة . ولبذور البقوليات
قصرات سميكة غير منفذة للماء ، وربما لا تنفذ الغازات . وعلى العموم فإن حيوية
البذور تأخذ في القلة بمضى الزمن عند حفظها في الهواء الجاف .

الباب الثاني عشر

النمو Growth



النمو هو الزيادة في الوزن الجاف للنبات أو العضو النباتي . وقد تكون هذه الزيادة مصحوبة بزيادة في الحجم . فإذا وضعت قطعة من الخشب في الماء فإنها تزداد في الحجم والوزن الرطب إلا أن هذه الزيادة تقف بعد مدة معينة فلا تعتبر الزيادة هنا دليلاً على النمو إذ أن وزنها الجاف لم يزد ، وإذا ضربنا صفحاً عن التغير الكيماوى الذى ينشأ من نقع البنودر فى الماء فى الفترة الأولى أثناء الإنبات فإن الزيادة الناشئة فى حجم ووزن البذور نتيجة لامتصاصها الماء لا تعتبر نمواً .

ويحدث عند إنبات البذور أن يزيد حجم البادرة بضع مرات عن حجم البذرة الأصلية ولكن عند تقدير المادة الجافة نلاحظ أنها فى البادرة أقل منها فى البذرة الأصلية . ذلك أن البذرة عند إنباتها تمتص قدراً كبيراً من الماء ثم يبدأ التغير فى محتوياتها من الغذاء المدخر فيتحلل النشاء الى سكريات ، والمواد البروتينية الى مواد عضوية سهلة الذوبان . ومن هذه المواد البسيطة يكون النبات أعضاءه الجديدة ويستهلك جانباً من هذه المواد فى عمليات التنفس والتحول الغذائى وبذلك ينخفض الوزن الجاف للبادرة الى أن تتمكن من تكوين مجموع جذرى فتمتص من التربة الماء والأملاح ويتكون لها المجموع الخضرى وتبدأ عمليات البناء . وعندما يزيد معدل البناء على ما يستهلك من المواد الغذائية فى عملية الهدم فإن الوزن الجاف للنبات يبدأ فى الزيادة .

ولكل نبات ما يسمى بدورة الحياة وهذه تختلف باختلاف نوع النباتات وتركيبها . ففي النباتات وحيدة الخلية كالبكتريا أو الفطر تبدأ دورة الحياة بخلية ناتجة من عملية الانقسام البسيط ثم تأخذ هذه الخلية فى زياده والنمو الى أن تهيأ للانقسام وبدا

نكون قد أتمت دورة حياتها في مدة قصيرة ، وقد قدرت المدة اللازمة لنمو خلية فطر الخيرة واستعدادها للانقسام بساعة واحدة، وقد ما ينتج من خلية واحدة من خلايا فطر الخيرة في مدة ٢٤ ساعة إذا توافرت لها جميع الشروط اللازمة بمليون ونصف مليون خلية فطرية .

أما في النباتات الخضراء الراقية فإن الأمر يختلف عن ذلك اختلافاً كبيراً . فتبدأ دورة الحياة باكتمال تكوين الجنين بالبذور . وعندما تكون البذور فإنه يلزمها فترة من الزمن تسمى فترة الكون ، تستعد أثناءها البذرة لئتم تكوينها فإذا ما توفرت لها الظروف المناسبة للأنبات فإنها تنبت إلى بادرة ويكون النمو هنا على حساب ما كان مدخراً من مواد غذائية داخل أجزاء الجنين أو خارجة كما أوضحنا إلى أن تحصل الزيادة في الوزن الجاف ، وتعتبر البادرة نباتاً كاملاً إلا أنه خال من الزهرة . ثم تأخذ البادرة في النمو فيتكون المجموع الجذري للنبات والمجموع الخضري بأوراقه وأفرعه . وبذا تتم مرحلة النمو الخضري في النبات . ويعقب ذلك مرحلة الإزهار والإثمار ، وعندما تتفتح الزهرة وتخصب البويضات يبدأ تكوين البذور والثمار وعندها تنتهي دورة حياة النبات الراقى .

ونمو الخلية سواء كانت الخلية نباتاً مفرداً أو خلية من خلايا نسيج النبات الراقى ما هو إلا محصلة لعمليات التحول الغذائي ، فإذا كان معدل البناء يفوق معدل الهدم فإن الخلية تزداد في الحجم والوزن معاً . وقد وجد أن معدل البناء في الخلايا النامية يساوى أضعاف ما يستهلك بها أثناء عمليات الهدم .

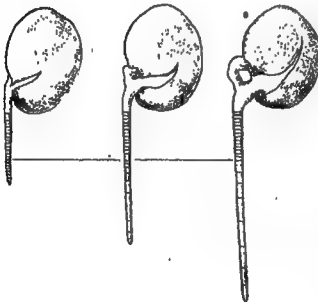
وتمر الخلية أثناء نموها على مراحل متتالية . ففي المرحلة المرسئية لا يصبح تكوين الخلايا زيادة في حجمها أو وزنها بل يقتصر الأمر على زيادة العدد ثم تلى ذلك مرحلة الزيادة في الحجم وهنا تبدأ الخلية في الامتصاص فتمتص الماء والأملاح ويكون نتيجة ذلك تكوين الفجوات الصغيرة التي سرعان ما تتجمع وتتحكم مكونة فجوة كبيرة تحتل مركز الخلية ويدفع السيتوبلازم فيلتصق بالجدار الخلوى ويطنه ويصحب ذلك زيادة في وزن وحجم الخلية نتيجة لامتصاصها الماء . وعندما تصل

الخلية الى هذه المرحلة من مراحل النمو فإنها تأخذ في التخصص حسب الوظيفة التي يتهيأ لها . فإذا كانت خلية من خلايا الخشب فإنه يختلط بجدارها مادة اللجنين وتزول الجدر التي ما بين الخلايا وتصل ببعضها وتكون وعاء الخشب وتصبح خلية ميتة . أما إذا تخصصت لتكون إحدى خلايا البشرة فإنها تأخذ وضعاً متراصاً قائم الأضلاع تقريباً وتغطي بشرتها العليا بمواد شمعية أو كيوتينية وهكذا حسب نوع التخصص . وهنا تكون الزيادة في الوزن راجعة الى ما يضاف الى هذه الخلايا من مواد تزيد من وزنها .

قياس النمو :

لقياس النمو طرق كثيرة وتوقف الطريقة التي تستعمل لقياس النمو على نوع العضو النامي وطبيعة نموه . وفيما يلي الطرق الأكثر شيوعاً في قياسه .

١ — قياس النمو في أطراف الجذور :



(شكل ٤٩)

منطقة النمو في الجذر (عن توماس)

لإظهار منطقة النمو في الجذور والسيقان تتبع طريقة وضع علامات ثابتة بالجبر الصيني على أطرافها على مسافات متساوية ويلاحظ بين آن وآخر الزيادة التي بين العلامات . وتوضح هذه الطريقة مناطق النمو بالضبط . فنلاحظ أنها تقع في الجذر على مسافة صغيرة من طرفه . فإذا قسم طرف الجذر في بادرة القول إلى أقسام كل قسم يساوي مليمتر واحد ، وترك

لمدة يوم أو اثنين بعد إحاطة الجذر بقطعة مبللة من القطن فإننا نلاحظ أن المليمترات السبعة أو الثمانية الأولى زادت في الطول زيادة واضحة بينما لم تزد المليمترات الباقية كثيراً (شكل ٤٩) .

٢ — طريقة الميكروسكوب العادي :

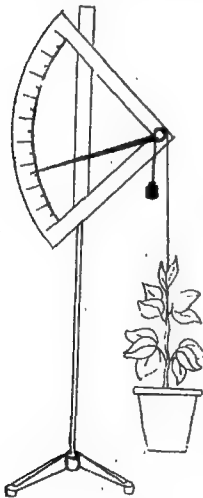
تستعمل هذه الطريقة في قياس نمو خلايا الفطر والبكتريا ووحدة القياس هنا الميكرون . وتستعمل في مثل هذا الميكروسكوب عينية خاصة مدرجة .

٣ — طريقة الميكروسكوب الأفقي :

يختلف هذا الميكروسكوب عن الميكروسكوب العادي في أن له قائماً رأسياً وعلى طرفه العلوى أنبوبة معدنية تشابه أنبوبة الميكروسكوب العادي وله عينية ميكرومترية ، ويتحرك الميكروسكوب في وضع رأسى وأفقي . ولقياس النمو في الجذر مثلاً بهذا الميكروسكوب تثبت البادرة في وضع رأسى وينظر في عينية الميكروسكوب وتحرك ضوابطه حتى يظهر طرف الجذر في بؤرة الإبصار ثم يترك بعض الزمن ويعاد ضبط الميكروسكوب ثم تقدر المسافة التي زادت بها القمة النامية . وعند معرفة قوة تكبير الميكروسكوب يمكن حساب الزيادة التي حدثت في النمو .

٤ — طريقة القوس المدرج :

لهذا الجهاز أشكال متعددة أبسطها الموضح في (شكل ٥٠) ويتركب من حامل رأسى عليه قوس مدرج من الخشب أو المعدن ويتحرك على التدرج مؤشر يرتكز في مركز القوس المدرج ويتصل بمؤشره بكرة . ولقياس النمو في القمة النامية للساق مثلاً يحضر نبات نام في أصيص ويربط طرف قمته النامية بخيط غير قابل للاستطالة ويلف الخيط حول البكرة المتصلة بالمؤشر لفة واحدة ويوضع في طرف الخيط الآخر ثقل مناسب ليجعل الخيط

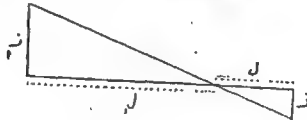
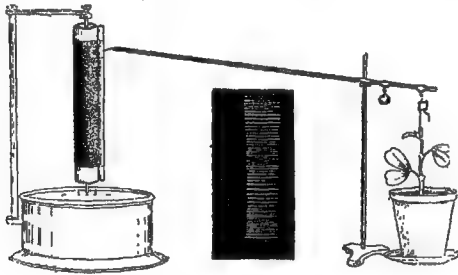


(شكل ٥٠)

مشدوداً . ثم تؤخذ قراءة المؤشر على القوس المدرج . ويترك الجهاز بعض الوقت فبعد استطالة طرف الساق النامية فإن ذلك يسبب حركة القوس إلى أسفل . ومن قراءة الزاوية الناتجة من تحرك القوس يمكن حساب الزيادة التي حدثت .

وهناك جهاز يسمى بالأوجز انومتر المسجل Self - recording auxanometer (شكل ٥١) . وهنا يستعاض عن القوس باسطوانة رأسية تغطي بطبقة من السناج أو تلف بورقة مغطاة بالسناج وتحرك الأسطوانة بواسطة جهاز ساعة متصل بها من القاعدة ، ويمكن ضبط جهاز الساعة لكي يحرك الاسطوانة حركة أفقية كل ربع أو نصف ساعة أو كل ساعة . وفي نهاية التجربة نحصل على خطوط أفقية متتابعة يمثل البعد بين الخط والخط الزيادة في النمو مكبرة بواسطة الرافعة . ويمكن حساب الزيادة الحقيقية من قياس طول ذراعي الرافعة ومعرفة المسافة بين كل خطين .

فإذا رمزنا لطول الذراع القصيرة بالرمز l والذراع الطويلة بالرمز L وللزيادة



(شكل ٥١)

الأوجز انومتر المسجل (عن توماس)

$$\frac{L}{L} = \frac{Z}{Z} \text{ فإن } Z \text{ وللزيادة المكبرة بالرمز } Z$$

٥ — طريقة البلانيميتير Planimeter :

ويستعمل هذا الجهاز لقياس مساحة الأوراق وتقدير الزيادة في مساحتها نتيجة نموها بعد فترة معينة من الزمن تحت ظرف من الظروف. والطريقة أن توضع الورقة النباتية على ورقة بيضاء وتحدد حافتها برسمها على الورقة ثم تزال ورقة النبات وتقاس مساحة الورقة المرسومة بواسطة البلانيميتير.

٦ — طريقة تقدير الزيادة في الوزن الجاف :

لتتبع الزيادة في الوزن الجاف لنبات ما لا بد من استعمال طائفة متتالية من هذه النباتات يؤخذ منها على فترات عدد معين ويجفف في الفرن على ١٠٥°م حتى يثبت الوزن ثم يقدر الوزن الجاف للعينات المتتالية. وباستعمال طرق الإحصاء يمكن إيجاد معدل الزيادة في النباتات المستعملة.

فترة النمو الكبرى Grand period of growth

إذا لحصنا النمو لأي نبات أو أي عضو نباتي باستعمال أحد الأجهزة السابق ذكرها فإننا نلاحظ أن النمو لا يكون منتظماً بدرجة واحدة طول فترة حياته. فكل نبات وكل عضو وكل خلية تمر على فترات ثلاث أثناء نموها. وقد شرح ساكس مراحل نمو النبات أو العضو النباتي فيما سماه قانون فترة النمو الكبرى. ويكون معدل النمو بطيئاً في الفترة الأولى ويسرع في الفترة الثانية حتى يصل إلى أقصاه ثم يأخذ في النقصان في الفترة الثالثة أو يتلاشى نهائياً وعند ذلك يقف النمو. والجدول الآتي يبين مقاومة ومعدل النمو في ساق البسلة :

الزمن	طول الساق بالمليمتر	مقدار النمو بالمليمتر	معدل النمو بالمليمتر (الوحدة الزمنية يومان)
ساعة الابتداء	٦٥,٢	—	—
بعد يومين	٥٦,٤	١,٢	١,٢
» ٤ أيام	٦٨,٩	٣,٧	٢,٥
» ٦ »	٧٥,٩	١٠,٧	٧,٠
» ٨ »	٨٩,٩	٢٤,٧	١٤,٠
» ١٠ »	٩٤,٩	٢٩,٧	٥,٠
» ١٢ يوما	٩٦,٤	٣١,٢	١,٥



(شكل ٥٢)

يمثل المنحنى أ نمو الساق بالمليمتر

ب معدل النمو بالمليمتر

اليومين الأولين كانت قليلة ثم أخذت الساق في الاستطالة السريعة حتى اليوم العاشر.

والرسم البياني الموضح في

(شكل ٥٢) فيه يمثل المنحنى أ

نمو الساق بالمليمتر ويمثل المنحنى

ب معدل النمو بالمليمتر. وبدراسة

المنحنى ب نشاهد أن النمو يبدأ

قليلا في اليومين الأولين ثم يزداد

بسرعة حتى يبلغ أقصاه في اليوم

الثامن وبعدها يأخذ في النقص

التدريجى حتى يتلاشى معدل النمو

تماما في اليوم الرابع عشر. أما

المنحنى أ فيمثل الزيادة اليومية

بالمليمتر في طول الساق أثناء

نموها، ومنه يلاحظ أن الزيادة في

اليومين الأولين كانت قليلة ثم أخذت

وبإبتداء من اليوم العاشر لم تحدث أى زيادة تذكر فى الطول حتى نهاية التجربة .

العوامل التى تؤثر فى النمو :

يحتاج النبات النامى إلى قدر كاف من الماء والأملاح المعدنية ودرجة ملائمة من الحرارة وقدر كاف من الأكسجين . ويعتبر الضوء من أهم العوامل اللازمة للنمو . غنى غيابه يعجز النبات تماماً عن تكوين المادة الخضراء وتستطيل الساق وتكون سلامياتها طويلة ، وتقل كثيراً مساحة نصل الأوراق ، ويضعف تكوين الخشب ، وتصبح السوق رخوة عصارية ضعيفة ويوصف النبات فى هذه الحالة بأنه Etiolated . وبالإضافة إلى أهمية الضوء فى تكوين المادة الخضراء فإنه يبدو أن له أثراً مباشراً على نمو الخلايا . وكما سيأتى ذكره ، فإن للضوء تأثيراً على توزيع هرمونات النمو على الخلايا كما أنه يسبب حساسية هذه الخلايا للهرمونات . ولا تخفى أهمية الضوء فى زيادة نفاذية البروتوبلازم فتسهل عملية الالتئام لإمداد مناطق النمو بما يلزمها من مواد غذائية .

طور الإزهار فى النباتات :

يرى Lysenko (١٩٢٨ — ١٩٣٧) أنه يلزم لسكى تتم النباتات الحولية دورة حياتها أن تمر على فترتين يختلفان عن بعضهما تمام الاختلاف . وقد سميت الفترة الأولى بالفترة الحرارية . والفترة الثانية بالفترة الضوئية . ويلزم لسكى يمر النبات فى الفترة الضوئية أن يستكمل الفترة الحرارية .

١ — الفترة الحرارية The thermo-stage

من الجائز أن يمر النبات فى هذه الفترة الحرارية دون أن يحدث تغير يذكر فى شكله العام . وما يصرح هذه الفترة فى النباتات الشتوية بإنخفاض درجة الحرارة عن حد أعلى . فإذا زادت الدرجة عن هذا الحد الأعلى فإن الفترة الحرارية لا تبدأ فى النبات ويظل النبات عقيماً ولا يمكن للنبات تحت هذه الظروف أن يبدأ الفترة الثانية التى يتم فيها الإزهار إلا إذا استكمل هذه الفترة الأولى . وقد أمكن بعد دراسة عوامل البيئة اللازمة لهذه الفترة الأولى استكمال هذه الفترة فى البذور أثناء

لإنباتها إنباتاً بطيئاً قبل يذرهما . فعند بذر هذه البذور المعاملة فإنها تبدأ في الحال في دخول الفترة الثانية وبذا تقل فترة النمو الخضري فيها الى أقل مدة ممكنة . وقد سميت هذه المعاملة التي من شأنها أن تقلل فترة النمو الخضري ، بما يؤدي الى اسراع التزهير في النباتات ، بالارتباع Vernalization

العوامل التي تؤدي الى نجاح الارتباع :

١ — درجة الحرارة : تحتاج النباتات الشتوية كبعض نباتات الحبوب الى درجة منخفضة من الحرارة نسبياً بينما تحتاج النباتات الصيفية كالقطن والذرة الى درجات مرتفعة من الحرارة . وعلى العموم فإنه بما يسرع عملية الارتباع أن تكون درجة الحرارة قريبة من الدرجة المثلى . فقد لاحظ Lysenko (١٩٣٧) أن نبات القمح استكمل فترته الأولى في مدة ٤٠ يوماً عندما استعملت درجة حرارة من صفر — ٢°م بينما احتاجت النباتات الى ١٢٠ يوماً عندما كانت درجة الحرارة ١٧°م . وعندما رفعت درجة الحرارة عن ذلك أو خفضت عن درجة الصفر فإن عملية الارتباع وقفت تماماً .

ب — المحتوى المائي للبذور : لا تحدث عملية الارتباع في البذور ما لم يبدأ جنيها في النمو . ويحدث هذا النمو في الجنين دون أن يبدو على البذرة تغير يذكر . ويمكن تنبيه هذا الجنين الساكن لبدء نشاطه ونموه بنقع البذور في الماء . ويحدث الارتباع عندما تحتوي البذور على قدر من الماء كاف لبدء الانبات . ولا يصح أن يقل المحتوى المائي للبذور عن ٥٠ ٪ من وزن البذور الجافة في الهواء .

الآ أنه ليس من السهل المحافظة على هذه النسبة من الرطوبة في البذور فإنها تأخذ في القلة أثناء عملية الارتباع . غير أنه يمكن التغلب على هذه الصعوبة بإجراء العملية على البادرات أثناء زراعتها . ولكنها طريقة ليست عملية لأنه ليس من الممكن التحكم في درجة حرارة الجو . وقد تمكن Gregory (١٩٣٦) من إحداث عملية الارتباع في البذور أثناء نضجها وهي متصلة بالنبات الأصلي .

ح — تركيز الأكسجين : ثبت من تجارب Gregory (١٩٣٦) أنه إذا حفظت البذور المعاملة بمعدل عن الأكسجين فإنه لا تحدث بها عملية الارتباع رغم توافر الشروط الأخرى من حرارة ورطوبة . وقد وجد Eremenko (١٩٣٥) أنه كلما زاد تركيز الأكسجين حول البذور أسرع عملية الارتباع .

٢ — الفترة الضوئية The photo - stage :

أوضح Lysenko أن الفترة الأولى تحتاج إلى درجة منخفضة من الحرارة في النباتات الشتوية وأنه يلزم للفترة الثانية درجة مرتفعة من الحرارة .

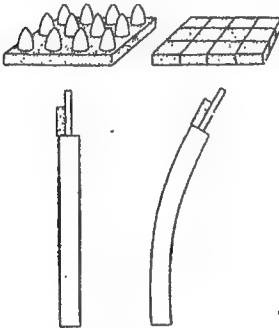
وتأثر الفترة الثانية بزيادة ساعات النهار . فعندما زرعت بذور القمح المعاملة وغير المعاملة في درجة مرتفعة من الحرارة وعرضت بعضها للإضاءة لمدة ١٠ ساعات والأخرى للإضاءة المستمرة فإن النباتات المعاملة والتي عرضت للإضاءة المستمرة هي التي أخرجت السنابل . وفي تجربة أخرى زرعت بذور القمح المعاملة وأضيفت لمدة ٢٠ يوماً إضاءة مستمرة نقلت بعدها إلى إضاءة قدرها ١٠ ساعات في اليوم ف لوحظ أنها أخرجت سنابلها بنفس السرعة التي أخرجت فيها النباتات المعرضة للإضاءة المستمرة سنابلها أثناء نموها الخضري .

أما بالنسبة لنباتات الصيف فإنه يلزمها ساعات إضاءة قليلة وبعبارة أخرى يناسبها النهار القصير والمثل الآتي يوضح هذه الظاهرة في نبات فول الصويا (الصنفي) :

زرعت البذور في يوم ٨ مايو وظهرت البادرة فوق سطح الأرض في يوم ١٧ مايو . وفي يوم ٢٠ مايو وضعت مجموعة من البادرات في ٧ ساعات إضاءة يومية وأزهرت نباتات هذه المجموعة في ١٠ يونيو ، ووصل طول النبات ٨ بوصات . وعندما عرضت نباتات المجموعة الثانية إلى إضاءة يومية قدرها ١٤ ساعة أزهرت في ٢١ يونيو وبلغ ارتفاعها ٤٥ بوصة . وعند تعريض مجموعة ثالثة من البادرات إلى فترة إضاءة أطول فإنها استمرت في النمو الخضري ولم تزهّر إطلاقاً . وعلى ذلك فإنه يمكن بتنظيم الإضاءة اليومية الحصول على نمو خضري جيد مع ازهار مبكر . يتضح مما سبق أن عملية الارتباع وحدها لا تكفي لكي تثمر النباتات وأنه يلزم للنباتات المعاملة والتي اجتازت الفترة الأولى درجة من الحرارة وفترة ضوئية مناسبة حتى يمكنها أن تثمر .

وفي عام (١٩١٤) ، (١٩١٨) حصل Paal على نتائج مشابهة للنتائج السابقة . وأضاف الى ذلك أنه عند فصل القعة الورقية ثم إعادة وضعها وضعاً غير مركزي سبب ذلك زيادة نمو السويقة في الجانب الذي وضعت فوقه القعة المفصولة وانحنت الساق نتيجة لإحداث التواء الغير متعادل على جانبي السويقة وذلك لما أفرزته القعة

المفصولة من مادة للنمو انتشرت منها إلى الخلايا التي أسفلها فسيبت نموها بمعدل أكبر من الخلايا الأخرى في النصف الآخر من السويقة ونتج عن ذلك حدوث الانحناء .
وقد استفاد F. W. Went (١٩٢٦) ، (١٩٢٨) من نتائج الأبحاث السابقة فيما يختص بانتشار مادة النمو من خلايا النبات إلى الجيلاتين أو الآجار ، فقام بفصل عدد معين من قمم الأغلفة الورقية ثم وضعها على طبقة رقيقة من الآجار فانشرت مادة النمو من هذه القمم إليها ، وبعد ساعتين أزيلت القمم من فوق طبقة الآجار ثم قسمت إلى أقسام صغيرة متساوية (شكل ٥٣) . وعندما وضعت قطعة من هذا



(شكل ٥٣)

استخلاص مادة النمو بطريقة (Went)

أبعادها $2 \times 2 \times 0.5$ ، ملليمتر وتركيز
الآجار فيها $\frac{3}{\%}$ التي في درجة 22°C وفي مدة ساعتين تحدث انحناءاً قدره ١٠ درجات عند وضعها وضماً غير مركزي على سويقة بادرة الشوفان بعد إزالة غلافها الورقي .

وهذه الطريقة في جمع مادة النمو من القمم المفصولة تبين ما انتشر منها فقط في طبقة الآجار . إلا أن ذلك لا يعني استخلاص جميع مادة النمو من القمم المفصولة ، فقد يبقى بعضها في القمة مرتبطاً بها بطريقة ما مما لا يمكن حسابه في طريقة تقدير درجة تركيز الهرمونات بها .

وقد استنبط Thimann (١٩٣٤) طريقة كيميائية لاستخلاص مادة النمو وقام Boysen Jensen (١٩٣٦) بإدخال بعض التعديلات عليها. وتتلخص الطريقة في قتل وطحن الفسيج النباتي طحناً تاماً مع إضافة كمية قليلة من الكلوروفورم المحمض بحامض الكلورودريك ١، أسامى بحيث تكون نسبة الكلوروفورم إلى حامض الكلورودريك ٥ : ١ وتترك طول الليل ثم ترشح ، ويحتوى المترشح على مادة النمو التى يمكن تخليصها من الكلوروفورم وإعادة اذابتها فى الأثير بشرط أن يكون خالياً من فوق الأوكسيد.

كيمياء مادة النمو :

قام كثير من الباحثين بدراسة كيمياء مادة النمو. فى عام (١٩٣٢-١٩٣٥) تمكن Kogl ومعاونوه من عزل ثلاثة مواد للنمو على حالة بلورية. وقد أمكن تحضير مركبين من هذه المواد من النباتات الراقية وقد سميت «أوكسين أ» و «أوكسين ب» بينما أمكن تحضير مادة النمو الثالثة من الكائنات الحية الدقيقة والفطريات وسميت «هيترو أوكسين».

أوكسين أ Auxin a. ك ١٨ بد ٣٣ أ.

الوزن الجزيئى = ٣٢٨

أوكسين ب Auxin b. ك ١٨ بد ٣٠ أ.

الوزن الجزيئى = ٣١٠

هيترو أوكسين Hetero - auxin

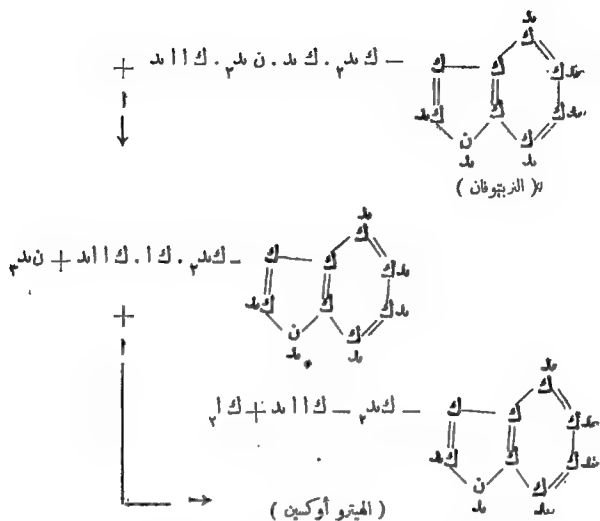
الوزن الجزيئى = ١٧٥

ومن خواص أوكسين (أ) أنه يلف أو يقل نشاطه عند معاملته بالقلويات ، أما الأحماض فلا تؤثر على نشاطه أو خواصه ، وأوكسين (ب) يتأثر عند معاملته بالأحماض أو القلويات فيقل نشاطه .

والهيترو أوكسين من الوجهة الكيميائية هو بيتا أندول. حامض الخليك

Oxidative
deamination B - indol acetic acid ويتبع من أكسدة ونزع مجموعة النشادر

من الحامض الأميى « تربتوفان » . وتتوقف كمية الهيترو أوكسين الناتجة على درجة تركيز التربتوفان الموجود فى البيئة الغذائية كما يتوقف أيضاً على درجة التهوية .



وليس للهيترو أوكسين المستخلص من الكائنات الحية الدقيقة تأثير على نموها وكذلك الحال في أوكسين ١ ٢ أوكسين ب ، بينما الهيترو أوكسين أثر كبير في تنظيم النمو في النباتات الراقية تماما كما يؤثر كل من أوكسين ١ ٢ ب . ويفقد الهيترو وأوكسين نشاطه تماما عند معاملة بالاحماض . أما القلويات فلا تؤثر على نشاطه على العكس تماما من أوكسين ١ ٢ .

وَأوكسين : هو حامض هيدروكسيلي واسمه الكيماوي حامض أوكسينتريوليك

Ouxentriolic acid

وأوكسينب هو حامض كيتوني واسمه حامض أوكسينولونيك Oxenolonic acid

ويعتبر بول الإنسان والتدريبات من أغنى المصادر التي تحضر منها الأوكسينات .

تحتوي المسحور الواحد من مادته الجافة على ١٠٠٠ الى ٥٠٠٠ وحدة شوفانية .

أما جبوب اللقاح والبذور فهي أغنى المصادر النباتية في الأوكسينات .

أصول الأوكسينات :

في عام (١٨٩٦) لاحظ Rothert أنه عند إزالة قمة السويقة فإنها تقف عن النمو ولكنها بعد مدة تستعيد قدرتها على النمو ثانية . وقد أسمى قمة البادرة في الحالة الثانية « القمة الفسيولوجية » Physiological tip . وفي عام (١٩٢٦) قام Dolk بدراسة هذه الظاهرة دراسة وافية وأوضح أنه إذا أزيل طرف الغلاف الورقي للبادرة ثم قطعت أسطوانة أخرى من نفس الغلاف الورقي بعد مدة قصيرة ، وقدر ما تحتويه من الأوكسينات فإنها لا تكاد تحتوي على كمية تذكر من هذه الأوكسينات . أما إذا ترك الغلاف الورقي مدة كافية بعد إزالة طرفه ثم فصلت منه إسطوانة فإنه عند تقدير محتواها من الأوكسينات وجد أنها تحتوي على كمية كبيرة منها . استنتج من هذه التجارب أن الغلاف الورقي الذي أزيل طرفه له القدرة على إنتاج كمية أخرى من الأوكسينات في الخلايا الطرفية للقمة التي فصل طرفها . ويقوم طرف الغلاف الورقي الجديد بنفس العمل الفسيولوجي الذي كانت تقوم به القمة المفصلة ومن ذلك أطلق عليه « القمة الفسيولوجية » وهي القمة التي تجددت بعد الفصل .

وعندما أزال Skoog (١٩٣٧) الأندوسبرم من بعض البذور ثم أزال بعد أيام من إنباتها قمم أغلفتها الورقية فإنه لاحظ أن القمة الفسيولوجية لم تجدد حتى بعد تركها مدة طويلة . وعندما أزال قمم بعض البادرات التي لم ينزع منها الأندوسبرم ثم وضع قطعاً من الآجار على سطح الأطراف المقطوعة ثم أزال هذه القطع بعد مدة من الزمن ووضعها وضعاً غير مركزي على أطراف بادرات أخرى أزيل منها الأندوسبرم وأزيلت قممها ، لم يحدث انحناء لهذه السويقات في أول الأمر ، ولكن بعد مضي ساعتين بدأ الانحناء وأخذ في الزيادة . وقد فسرت هذه الظاهرة بأن قطع الآجار لا بد أنها احتوت على مادة غير فعالة في أول الأمر ثم تحولت تدريجياً إلى مادة أوكسينية نشطة .

ويمكن تلخيص هذه الملاحظات والنتائج فيما يلي :

تتكون الأوكسينات في القمم الحقيقية أو القمم الفسيولوجية من أصل غير

نشط يتكون في اندوسبرم البذرة ، ثم ينقل هذا الأصل Precursor بصورته النير
نشطة ولا يتحول الى الأوكسين النشط إلا بعد وصوله الى القمة .

انتقال الأوكسينات

سبق أن أوضحنا أن الأوكسينات تتكون في القمم النامية ثم تنتشر إلى أسفل
في اتجاه قاعدى . وفى عام (١٩٣٨) أجرى Beyer التجربة الآتية :
فصل قمم الأغلفة الورقية لبعض بادرات الشوفان ثم قسمها الى مجموعتين ثم
وضع بين القمم المفصولة وبين اطرافها المقطوعة اسطوانات من الأغلفة الورقية
بوضعها الطبيعى على الثبات في إحدى المجموعتين . ووضع هذه الاسطوانات بوضع
مقلوب في المجموعة الثانية . فلاحظ بعد مضي الوقت ان الأوكسينات امكنا ان
تنتشر خلال الاسطوانات الموضوعة وضعا طبيعيا وسيبت زيادة نمو السويقة بينما لم
تتمكن من الانتشار خلال الاسطوانات المقلوبة ووقف نمو سويقاتها لعدم وصول
الهرمونات الى اطرافها النامية . والذي تدل عليه هذه التجربة هو ان انتقال
الأوكسينات يكون قطبيا Polar .

وبما يعزز قطبية انتقال الأوكسينات تلك التجربة التى أجراها Van der Weij
(١٩٣٢ — ١٩٣٤) وفيها أحضر اسطوانة مقطوعة من غلاف ورقى ووضعها بين
قطعتين من الآجار تحتوى إحداهما على اوكسين ولا تحتوى الأخرى على شيء منه ،
فلاحظ أن الأوكسين لم ينتقل الى اسطوانة الغلاف الورقى إلا عندما كانت قطعة
الآجار المحتوية عليه موضوعة وضعا مورفولوجيا على قمة الغلاف الورقى أى أعلاه .
وعند إحاطة اسطوانات الأغلفة الورقية المستعملة في التجربة السابقة ببخار
الأثير ، فإن انتقال الأوكسينات لم يتبع الطريقة القطبية بل كان انتقالها خاصفاً
لقوانين الانتشار العادية . ولكن عند تهوية الاسطوانة تهوية جيدة عاد انتقال
الأوكسين الى ما كان عليه أى أنه أصبح قطبيا مرة أخرى .

الأوكسينات ونمو السويقات :

تنمو السويقات والأغلفة الورقية بمعدل أكبر قرب أوساطها . ويعزو Went

(١٩٢٨ — ١٩٣٥) اختلاف النمو في أجزاء السويقة الى عاملين : الأول هو حركة الأوكسينات من القمة الى أسفل والثاني هو العامل الغذائى وهو حركة المواد الغذائية من أسفل (من البذرة) الى أعلا . فيينا يقل تأثير العامل الأول على نمو الخلايا كلما ابتعدنا عن القمة ، يقل تأثير الثاني كلما ابتعدنا عن القاعدة . ففي المنطقة الطرفية يعتمد النمو على وجود الأوكسينات وحدها بتركيزات زائدة . أما فى المنطقة القاعدية فإن النمو يعتمد على وفرة المادة الغذائية لأن تركيز الأوكسينات فيها يكون ضئيلا . أما المنطقة الوسطية فإنها تتلقى إمدادات كافية من كل من الأوكسينات (من أعلا) والمادة الغذائية (من أسفل) ولذلك يزيد معدل نموها .

١. الأوكسينات ونمو الجذور :

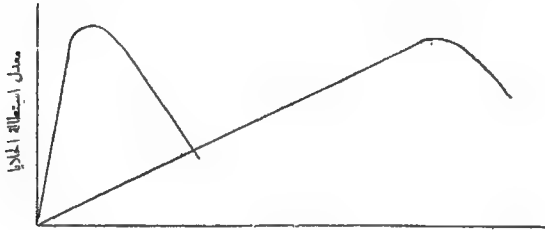
لوحظ أنه عند إنباء جذور بادرات الشوفان فى محاليل تحتوى على الأوكسينات أن معدل نموها نقص بدرجة ملحوظة .

ولاحظ Cholodny (١٩٢٤ — ١٩٢٦) أنه عند فصل الأطراف النامية للجذور ، ساعد ذلك كثيراً فى معدل استطالتها . وعندما أعاد الأطراف المفصولة الى أماكنها أدى ذلك الى تأخر استطالتها . من ذلك يظهر أن تأثير الأوكسينات على نمو الجذور عكس تأثيرها على نمو الأغلفة الورقية والسويقات .

وتحتوى أطراف الجذور على كمية من الأوكسينات أقل كثيراً مما تحتويه الأغلفة الورقية منها ، وقد أخفق كثير من الباحثين فى الحصول على أى كمية من الأوكسينات من أطراف الجذور . وفى عام (١٩٣٣) نجح Boysen - Jensen فى استخلاص الأوكسينات من أطراف الجذور باستعمال قطع الآجار المضاف اليه بعض السكر . ويظهر أن استعمال السكر قد ساعد على استخلاص الأوكسينات بطريقتين : الأولى وهو زيادة الضغط الأزموزى لقطع الآجار مما أدى الى سرعة انتشار الأوكسينات من أطراف الجذور . والثانية بطريق تغذية الجذور بالمادة السكرية مما أدى الى سهولة استخلاص الأوكسينات .

التأثيرات المختلفة لنمو وكسينات على الجذور والأغلفة الورقية :

سبق أن أوضحنا أن تأثير الأوكسينات في نمو الجذور يغير تأثيرها في نمو الأغلفة الورقية والسويقات . وقد فر Boysen - Jensen (١٩٣٦) هذه الظاهرة بأن افترض أن التركيزات المنخفضة من الأوكسينات تسبب استطالة الخلايا ، بينما تحت



(شكل ٥٤) تركيز مادة النمو

العلاقة بين تركيز الأوكسين وأثره في استطالة الخلايا في كل من الجذر والساق

التركيزات العالية منها عكس التأثير . وأن التركيزات المثلى لنمو الجذور تكون منخفضة جداً إذا قيست بالتركيزات المثلى اللازمة لنمو الأغلفة الورقية والسويقات . والرسم الموضح في (شكل ٥٤) يوضح هذه العلاقة .

وبما أيد صحة هذا الفرض تلك الأبحاث التي أجراها Amlong (١٩٣٦) حينما أزال أطراف جذور الفول النامية وأمد الأجزاء الباقية من الجذور بتركيزات منخفضة جداً من الأوكسينات مما أدى إلى اضطراب نموها .

وعندما أزال Thimann & Schneider (١٩٣٨) أطراف الأغلفة الورقية لبادرات الشوفان ثم أضيفت الأوكسينات إلى الأجزاء الباقية بعد القطع بتركيزات مختلفة ، لاحظ أنه كلما زاد تركيز الأوكسينات أدى ذلك إلى زيادة معدل استطالة الخلايا . وبلغت الزيادة أقصاها عندما كان تركيز الأوكسين ١٠ مليجرامات في اللتر . وأدت الزيادة في التركيز عن هذا الحد إلى إبطاء النمو وكذا إلى قلة استطالة الخلايا .

بعض ظواهر نشاط الأوكسينات :

١ — زيادة استطالة الخلايا :

ليس من المعروف على وجه التحقيق الدور الذي تلعبه الأوكسينات في استطالة الخلايا ويرى البعض أن ذلك راجع إلى زيادة إنتاج الخلايا لمادة الجدار .

وقد أوضح Heyn (١٩٣١) من تجاربه العديدة أن استعمال الأوكسينات سبب زيادة في لين جدر الخلايا المعاملة عن نظائرها التي لم تعامل بالأوكسينات مما أدى إلى قلة الضغط الجداري للخلايا المعاملة فزاد تمددها وانفرداها عند امتصاصها للماء .

٢ — تكوين الثمار اللابذرية :

أوضحت تجارب كثير من الباحثين وجود علاقة وثيقة بين الأوكسينات وتكوين الثمار ونموها . فقد وجد Gustafson (١٩٣٦ — ١٩٣٩) أن ثمار الصيف تحتوي دائماً على كمية من الأوكسينات أكبر من التي تحتويها ثمار الشتاء والربيع . وأن البويضات في جميع الثمار تحتوي على كمية من الأوكسينات تفوق ما يحتويه أى جزء آخر من أجزاء النبات . وأوضح Dollfus أن البويضات والبذور هي أكثر المراكز إنتاجاً للأوكسينات أثناء نمو وتكوين الثمار كما أوضح Thimann (١٩٣٤) . وغيره احتواء حبوب اللقاح على قدر من الأوكسينات .

ويرى Gustafson (١٩٣٨) أن نمو الثمار إنما يحدث نتيجة لعملية التلقيح والاختصاب ، وذلك لأن الأنوبة اللقاحية تمد المبيض بقدر كاف من الأوكسينات ليبدأ نموه وتحوله إلى ثمرة ، وأن استمرار المبيض (ثمرة المستقبل) في النمو والتضخم إنما يعزى إلى الامدادات التي يتلقاها من الأوكسينات التي تنتج من البويضات والبذور ففي إحدى التجارب أزيلت البويضات من المبيض فأدى ذلك إلى إيقاف نمو المبيض وتحوله الى ثمرة . ولكنه عند امداده امداداً صناعياً بالأوكسينات فإن المبيض أخذ في النمو والتحول .

أما فيما يخص بالثمار اللابذرية التي تكون بطبيعتها كالبرتقال أبو سرة والعنب .

البناتي والموز - فإن Gustafson (١٩٣٩) يفترض احتواء مبايضها بطبيعتها على قدر من الأوكسينات كاف لبدء المبيض في النمو والتحول إلى ثمرة بدون الحاجة إلى امدادات يتلقاها من الأنثوية اللقاحية. والأوكسين في هذه الحالة إما أن يتج من المبيض نفسه أو ينقل اليه من الأوراق .

ولكى يدلل Gustafson على صحة افراضه ، فإنه قام بمقارنة المحتوى الأوكسيني للمبايض وهي في طور البراعم الزهرية لنباتات تنتج ثماراً لا بذرية وأخرى تحتاج إلى عملية التلقيح والإخصاب لتنتج ثمارها. ولاحظ أنه في جميع الحالات احتوت مبايض النباتات التي تنتج ثماراً لا بذرية على قدر من الأوكسينات أكبر من الأخرى . ولكن عندما بلغ عمر الثمار من ٢ - ٤ أسابيع ، زاد المحتوى الأوكسيني في المبايض البذرية عنه في المبايض اللابذرية كما هو ظاهر في الجدول التالي :

حالة المبيض	ثمار لا بذرية	ثمار بذرية
برعم زهرى	١,١٦ ملليجرام	٠,٥٨ ملليجرام
ثمرة عمرها اسبوعان	١,٠٦	١,٣٥
ثمرة عمرها ٤ أسابيع	٠,٦١	٠,٨١

المحتوى الأوكسيني للمبايض البذرية واللابذرية في أعمار مختلفة مقدرة بالمليجرام من أندول حامض الخليك لكل كيلو جرام واحد من المبايض المستعملة

يتضح إذن مما سبق أن الأوكسينات تلعب دوراً هاماً في تكوين الثمار ونموها . وعلى ذلك فإن عملية التلقيح من الناحية الفسيولوجية لا فائدة لها إلا في امداد المبيض الصغير بكمية من الأوكسين تنشط نموه .

وقد نجح Gustafson في انتاج ثمار لا بذرية عندما عامل مياصم الأزهار بأندول حامض الخليك (على هيئة محلول في قطعة من القطن وضعت على ميسم الزهرة أو باستعمال دهن اللانولين مع اندول حامض الخليك على الميسم مباشرة) . وقد أمكن بهذه الطريقة انتاج ثمار خالية من البذور والفراغات الداخلية من الطماطم والشمام

والخيار والباذنجان والفلفل والقرع عند معاملتها بالهيترو أوكسين وأمثالها من مواد النمو . وكان شكل الثمار الناتجة طبيعياً ولو أنها كانت أقل قليلاً في الحجم من الثمار الأخرى .

٣ — تشجيع انقسام الخلية :

أوضح Snow (١٩٢٣) ، (١٩٣٥) بالتجربة تأثير الأوكسينات على نشاط الكامبيوم فعندما عامل طرف سويقة بادرة عباد الشمس عند فصل فمها بأوكسين « ١ » لاحظ زيادة في سمكها نتيجة لنشاط الكامبيوم .

ومن أمثلة تأثير الاوكسينات في انقسام الخلية تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية - كما سبق توضيحه - وتكوين الجذور على العقل الساقية . وقد وجد أن الأورام المرضية التي تحدث للسيقان والجذور نتيجة لإصابها ببعض الأمراض إنما يرجع إلى احتواء هذه الأعضاء المصابة على تركيزات عالية من الاوكسينات التي تسبب تضخم الخلايا وانقسامها .

٤ — تكوين الجذور على العقل الساقية والورقية :

قام Van der Lek (١٩٢٥) بدراسة علاقة تكوين الجذور على العقل بالعوامل الداخلية في نباتات الصفصاف *Salix* والعنب *Vitis* وغيرها . وأوضح أن وجود البراعم النشطة في هذه العقل يشجع تكوين الجذور بها، وأن تكوين الجذور يمتنع تماماً في حالة كون هذه البراعم أو إزالتها .

وقد أيدت أبحاث Went (١٩٢٩ — ١٩٣٤) و Némec (١٩٣٤) النتائج السابقة ويتضح منها أن وجود البراعم على العقل لا تقصر أهميتها على امداد هذه العقل بالمادة التي تشجع تكوين الجذور فحسب ، بل لأن لها تأثيراً آخر لا يمكن تعويضه بتغيير المعاملة .

وأوضح Thimann & Went (١٩٣٤) أن تأثير مادة تكوين الجذور يشابه إلى درجة كبيرة - إن لم يكن يماثل - تأثير الاوكسين نفسه .

ومن المعروف أنه عند معاملة العقل الخشبية بمحلول مخفف من الأوكسين فإن ذلك يسبب تكوين الجذور بها ونموها نمواً تاماً . فإذا عوملت الأطراف السفلى فقط بهذه المادة فإن الجذور لا تتكون إلا عليها . ولكن إذا عوملت الأطراف العليا للعقل فإن الجذور تتكون على جميع أجزائها .

وعندما عامل Cooper (١٩٢٥) عقل الليمون بالأوكسين في أطرافها السفلى وأزال ١ سم من هذه الأطراف المعاملة في بعض العقل ثم عاملها بالأوكسين ثانية لم تتكون عليها الجذور ، بينما تكونت الجذور على العقل الأخرى التي لم تزل أطرافها السفلى . وتظهر هذه التجربة أن هناك عامل داخلي يتحرك إلى القاعدة عند معاملةها بالأوكسين ويتركها فيها . فعند إزالة هذا الجزء القاعدي من العقلة فإن هذا العامل الداخلي يزال مع الجزء المزال وبالتالي لا تتكون الجذور على مثل هذه العقل .

وليس ضرورياً أن تسبب معاملة العقل بالأوكسين تكوين الجذور عليها ، إذ أن بعضها لا يستجيب لهذه المعاملة . فقد لوحظ نجاح تكوين الجذور في بعض أنواع العقل إذا عوملت بمحلول سكري عقب معاملةها بالأوكسين مباشرة .

وهناك بعض مواد لها تأثير كبير على تكوين الجذور ومن أمثلتها تلك المادة التي توجد في مستخلص الخيرة والتي تسمى « Bios » . ويبدو أن هذه المادة تتكون من ثلاثة مواد على الأقل ، أهمها ما هو معروف باسم « Biotin » . وهذه المواد تساعد على تكوين الجذور إذا عوملت الأجزاء القاعدية من العقل بها .

ويجب ألا يغيب عن ألبال - بالإضافة إلى العوامل السابقة - أهمية العوامل الأخرى في نجاح تكوين الجذور على العقل أهمها : موعد تجهيز العقلة ودرجة الحرارة المناسبة لنموها ووفرة الرطوبة حول قاعدتها دون الإخلال بتبويتها .

وإذا احتوت العقلة على قدر كاف من الأوكسين ومع ذلك لم تتكون بها الجذور عند زرعها ، فلا بد أن يكون هناك عامل أو أكثر من عامل غير متوفر وعلى ذلك يقوم هذا العامل الغير متوفر . بدور العامل المحدد لتكوين الجذور ولا بد من توفيره بعد .

البحث عنه ومعرفته . هذا وقد يكون للأنزيمات التي توجد على سطح العقلة المقطوع تأثير مثبت على الأوكسين المضاف .

٥ — وقف استطالة السيقان والجذور :

سبق أن أوضحنا أن وقف استطالة الأعضاء النباتية يحدث نتيجة معاملتها بتركيزات من الأوكسينات أعلا من التركيزات التي تسبب استطالتها . وقد أوضحت تجارب Cholodny وقف استطالة الجذور عند معاملتها بتركيزات خاصة من الأوكسينات .

وفي عام (١٩٣٥) لاحظ Czaja أنه عند معاملة السويقة الجينية لبادرات عباد الشمس بتركيزات معينة من الأوكسين المحضر من البول ، أدى ذلك إلى استطالة السويقات بنسبة ١٢٧ ٪ من سويقات البادرات التي لم تعامل (بادرات المقارنة) . ولكن عند زيادة تركيز الأوكسين إلى أربعة أمثال التركيز المستعمل أدى ذلك إلى استطالة السويقات بنسبة ١٩ ٪ من سويقات بادرات المقارنة .

وعندما عامل Dostal (١٩٣٦) فلقات البسلة بدهن اللانولين المحتوى على الأوكسين بنسبة تقل عن خمسة مليجرامات من أندول حامض الخليك لكل جرام من اللانولين ، أدت هذه المعاملة إلى استطالة أعناق الأوراق ، ولكن هذه الاستطالة لم تحدث في أعناق أوراق النباتات التي عوملت فلقاتها بتركيزات أعلا من ذلك .

وثمة تجارب مشابهة أجراها Thimann & Sweeney (١٩٣٧) ، (١٩٣٨) على خلايا بشرة الأعلفة الورقية لبادرات الشوفان . فعندما عوملت خلايا بشرتها بتركيزات منخفضة من الأوكسينات ، سبب ذلك زيادة معدل الحركة الدائرية للبروتوبلازم ، بينما سببت تركيزات من الأوكسين تزيد عن عشرة مليجرامات في اللتر إبطاء الحركة الدائرية .

٦ — وقف نمو البراعم الجانبية :

من الحقائق المعروفة أن البراعم الجانبية تظل ساكنة طالما بقي البرعم الطرفي للساق نامياً نمواً طبيعياً ، وأنه عند إزالة هذا البرعم الطرفي فإن أكثر هذه البراعم

الجانبية الساكنة تتنبه وتأخذ في النمو . من ذلك نرى أن هذه البراعم الجانبية تحتفظ دائماً بقدرتها على النمو متى تهيأت لها الظروف ، ولكنها تبقى ساكنة طالما بقي البرعم الطرفي متصلاً بالساق التي تحمل هذه البراعم الجانبية . وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة « السيادة الطرفية » The apical dominance . وعندما ينمو البرعم الجانبى معطياً فرعاً جانبياً ، فإن برعمه الطرفي يؤثر على البراعم الجانبية لنفس الفرع ويوقف نموها أيضاً ، وعلى ذلك فإنه من السهل التحكم في شكل الشجرة متى أجرى تقليمها بطريقة مناسبة لإنتاج الأفرع الجانبية التي عليها ينبئ الشكل النهائي لها . هذا فيما يختص بأشجار الزينة ، أما الأشجار المثمرة فيراعى في تقليمها تشجيع البراعم التي ستحمل النمو الثمرى الجديد . ولكل نوع من هذه الأشجار طريقة خاصة في التقليم تتناسب وطريقة تربها . فليس الغرض إذن من التقليم إزالة النمو الزائد لحسب ، بل أيضاً تنبيه نمو البراعم التي لو تركت الشجرة بدون تقليم لما نمت .

ويؤخذ من نتائج Thimann & Skoog (١٩٣٣) ، (١٩٣٤) أن البرعم الطرفي لنبات الفول هو أكثر المراكز إنتاجاً للأوكسين ، وأن أكثر هذا الأوكسين المنتج إنما يرجع إلى حمله للأوراق الصغيرة ، وأن البراعم الجانبية الساكنة لا تنتج الأوكسينات طالما بقيت ساكنة ، ولكنها تبدأ في إنتاجها بمجرد خروجها من طور السكون إلى طور النمو . ويعزو هذان الباحثان سكون البراعم الجانبية إلى الكميات الهائلة من الأوكسينات التي يفرضها البرعم الطرفي والتي تتحرك في الاتجاه القاعدى فتمنع تكوين الأوكسينات من البراعم الجانبية . وقد أثبتا بالبرهان صحة هذا الرأي عندما أزيلت القمة النامية ووضع مكانها قطعة من الآجار تحتوى على الأوكسين فغطت البراعم الجانبية ساكنة تماماً كما في نباتات المقارنة التي لم تستأصل فيها البراعم الطرفية .

وقد وضعت عدة نظريات لتفسير سكون البراعم الجانبية ، ولكن يبدو أن هذه النظريات غير مقنعة . وقد أعاد Thimann (١٩٣٩) النظر فيها ولفقت الانظان إلى نقطة أهمها كثير من الباحثين وهى احتمال حدوث تلف للأوكسينات في البراعم

الجانبية . فمن الجائز أن يكون سبب سكون هذه البراعم هو قدرتها على احداث التلق للأوكسينات التي تفرزها هذه البراعم أو التي تأتي إليها من البرعم الطرفي . فعند إزالة البرعم الطرفي فإن إمداد البراعم الجانبية بالأوكسينات يمنع مؤقتاً وبالتالي يمنع تأثير إلتلاف الأوكسينات . ولكن سرعان ما تنبه البراعم الجانبية العليا لوجود أوراق صغيرة نشطة بجوارها تمدها ببعض الأوكسينات التي تنتجها فتنبه وتأخذ في النمو وإنتاج مزيد من الأوكسينات التي تتحرك بدورها إلى أسفل وتمنع نمو البراعم الجانبية الأخرى بنفس الطريقة .

٧ - مقاومة الحشائش :

منذ عام (١٩٤٤) حدث تطور كبير في استخدام المستحضرات الأوكسينية الصناعية - خصوصاً المركب المعروف باسم 2, 4- dichlorophenoxy acetic acid أو (2, 4-D) في إبادة الحشائش . وقد نشرت كثير من الأبحاث عن هذه المادة وطرق استخدامها وتأثيراتها الفسيولوجية على النباتات المعاملة بها ، ولا يزال البحث فيها مستمراً حتى الآن . وتختلف مبيدات الحشائش الهرمونية عن المبيدات الأخرى الكيماوية في نواح كثيرة .

وقد استعمل في الماضي كثير من هذه المبيدات الكيماوية (مثل كبريتات الحديدوز وحامض الكبريتيك وكلورات الصوديوم وكبريتات الأمونيوم ومستحضرات الزرنيخ المختلفة) كما استخدمت المستحضرات الزيتية ذات التأثيرات الفعالة (مثل بعض منتجات التقطير الجزئي لزيت البترول) واستعملت أيضاً مستحضرات الديترو « Dinitro » مثل المركب المعروف تحت اسم (Sodium dinitro - o - cresylate) . أما تأثيرات هذه المركبات الكيماوية على إبادة الحشائش فراجع إلى تسميمها المباشر للخلايا التي تمسها . وتسبب كثير من هذه المبيدات الكيماوية إبادة جميع المزروعات بينما يبيد البعض الآخر الحشائش الضارة وتبقى المحاصيل الرئيسية بدون ضرر تقريباً كما يحدث عند رش حقول الشوفان للتخلص من عشب الخردل (عشب من العائلة الصليبية ينمو مع المحاصيل الشتوية) بمحلول مخفف من حامض الكبريتيك . وقد

يعزى عدم إبادة نباتات الشوفان عند معاملتها بهذه المادة إما الى قلة نفاذية كيوتين خلايا بشرة أوراقها لحامض الكبريتيك أو الى عدم قابلية الأوراق للابتلال بالحامض. وتعزى مقاومة بعض المحاصيل كالجزر وبعض نباتات العائلة الخيمية - عند رشها بالمحاليل الزيتية الخفيفة المحتوية على نسبة بين ١٢ - ١٥ ٪ من المواد العطرية السامة الى مقاومة البروتوبلازم .

أما في حالة استعمال المبيدات الهرمونية ، فإنه بالإضافة الى تأثيرها السام المباشر عند استعمالها بتركيزات عالية ، فإنها ذات تأثير فعال في قتل الحشائش عند استعمالها بتركيزات لا تسبب تلف الخلايا عند ملامستها . ويبدو أن تأثيرها غير مباشر في قتل الحشائش لأنها تسبب استهلاك الغذاء المخزن بها نتيجة لزيادة معدل تنفس النباتات المعاملة زيادة كبيرة ، علاوة على تأثيرها في سرعة استطالة خلايا برانشيم القشرة للسيقان والجنود والأوراق ، كما تسبب وقف عملية الانتقال من الأوراق ، وتمزق خلايا اللحاء نتيجة لتكون خلايا برانشيمية كثيرة في منطقة اللحاء ، وأخيراً تمنع تكوين البراعم . وتسرى المادة الهرمونية التي رشت بها النباتات الى جميع أجزائه محدثة هذه التغيرات السابق ذكرها مما يؤدي حتما الى موت النبات بأكمله . وهذه المبيدات الهرمونية تأثيرات متباينة على النباتات المختلفة . فبينما لا تكاد تؤثر في حشائش المراعي (Grasses) نجد أنها تقتك بالنباتات ذات الأوراق العريضة .



الباب الرابع عشر

الحركة والاحساس في النبات

Irritability and Plant Movement



اعتبر الإحساس في العصور السابقة حداً فاصلاً ويميزاً للحيوان عن النبات . إلا أنه قد ثبت بوجه عام قدرة النبات على الإجابة (Response) إذا أثر عليه مؤثر (Stimulus) . ويعبر عن حساسية البروتوبلازم وقدرته على الاستجابة للمؤثرات بالإحساس (Irritability) .

وأكثر ما تكون الحركة وضوحاً في النباتات الأولية كالبكتريا المتحركة وبعض أنواع الطحالب مثل طحلب الكلاميدوموناس Clamydomonas .

ويختلف الإحساس والحركة في النبات عنه في الحيوان . ومعروف أن للحيوان جهازاً عصبياً يقوم بنقل التأثير أو التنبيه إلى مركز الأعصاب التي ترسل بدورها - عن طريق الأعصاب - الرد أو الإجابة على هذا المؤثر . ولا تستغرق المدة بين التأثير والإجابة أكثر من جزء من الثانية . أما في النبات فالأمر يختلف عن ذلك كل الاختلاف لخلو أنسجة النبات من الأعصاب التي تقوم بنقل التأثيرات إلى مراكزها إلا أنها مع ذلك تستجيب للمؤثرات الخارجية كالضوء مثلاً ولكن ببطء شديد وبعد فترة طويلة من الزمن .

ومن أمثلة الحركة في النبات تفتح الأزهار في الضوء وقفلها في الظلام ، ونعاس الأوراق ليلاً (كما في أوراق الترمس حيث تنضم الوريقات على بعضها بالليل) وانفرادها نهاراً ، وتحرك نورات عباد الشمس لتظل متعامدة مع أشعة الشمس طول النهار ، وذبول وتهدل أوراق المستحية Mimosa عند لمسها ، وكذلك حركة أوراق نباتات آكلة الحشرات عندما تلامسها حشرة أو مادة بروتينية .

وتنقسم الحركة في النبات إلى الأقسام الآتية :

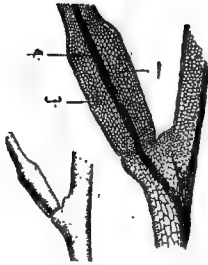
- ١ — حركة ذاتية Autonomic وهي التي تصدر من النبات نتيجة لنموه كامتداد الريزومات Rhizomes والسوق الجارية Runners تحت سطح الأرض أو فوقها . ويجب ملاحظة أنه ليس للبؤثرات الخارجية دخل في هذا النوع من الحركة .
- ٢ — حركة تأثيرية Paratonic وهي التي تصدر من النبات نتيجة لمؤثر خارجي . وينقسم هذا النوع من الحركة إلى قسمين :

- ١ — حركة تأثيرية تصدر نتيجة لتركيب خاص في النبات Nastic movement مثل نعاس الأوراق وحركة أوراق النباتات آكلة الحشرات وغيرها .
- ب — حركة تأثيرية تصدر نتيجة لتأثير المؤثر الخارجى وتسمى بالحركة الانتحاءية Tropic movement ومن أمثلتها الانتحاءات كالانتحاء الأرضى والانتحاء الضوئى والانتحاء المائى .

الحركة التي تصدر نتيجة لتركيب خاص في النبات Nastic movement

عندما تلامس حشرة شعيرات ورقة نبات آكل الحشرات (الدروزيرا *Drosera*) فإنه تصدر حركة تأثيرية تكون نتيجة انطباق الشعيرات على الحشرة التي تقوم بإفراز بعض الأنزيمات التي تحلل جسم الحشرة إلى مواد أزوئية بسيطة يقوم النبات بامتصاصها .

والحرارة والضوء - كل على حدة - تأثير على هذا النوع من الحركة . فمثلا تنفتح أزهار الزعفران *Crocus* واليوليب *Tulip* فى درجة ثابتة من الحرارة عند إضاءتها وتغفل عند إظلامها . كما أنه عند حفظها فى درجة ثابتة من الإضاءة تنفتح الأزهار فى الهواء الدافئ وتغفل فى الهواء البارد . ويعزى فتح الأزهار إلى زيادة تمدد السطح العلوى للبتلات عن السطح السفلى . ويحدث العكس عند قفلها .
ومن أوضح أنواع الحركة التأثيرية ما يشاهد فى نبات المستحية *Mimosa* (النيات



(شكل ٥٥)

وسادة ورقة المستحية

١ — السطح العلوى للوسادة

ب — السطح السفلى

ج — الحزمة الوعائية

الحساس (Sensitive plant) كنتيجة للتأثير
اللمسى أو الجرحى حيث ترتخى وريقاتها الطرفية
عند ملامستها ثم لا تلبث أن تسرى موجة من
الارتخاء حتى تعم جميع وريقات الورقة الواحدة
مبتدئة من الوريقات القمية إلى القاعدية . وتعزى
هذه الظاهرة إلى التركيب الخاص لوسادات الأوراق
Pulvini ، حيث تكون الخلايا البرانشيمية في الجزء
السفلى من الوسادة أرق جذراً من مثيلاتها في
الجانب العلوى للوسادة ، كما تتميز بمسافات البينية
الواسعة وبوجود حزمة وعائية مركزية في كل
وسادة . فعند ملامسة النبات فإن الماء المسبب
لامتلاء خلايا الجزء السفلى للوسادة ينتقل إلى المسافات
البينية فتفقد خلايا هذا الجانب امتلاءها فترتخى خلاياه ويتغير شكل الوسادة الورقية
كما يؤدي إلى ارتخاء الورقة (شكل ٥٥) .

الحركات الانفعائية (الانفعالات) Tropic movements tropisms

استعملت اصطلاحات خاصة لتبين نوع الحركات الانتحائية بالنسبة للمؤثر
الخارجى ودرجة الاستجابة لهذا المؤثر . فثلاً أطلق « الانتحاء الأرضى » على الحركة
نتيجة لتأثير الجاذبية الأرضية . و « الانتحاء الضوئى » نتيجة لتأثير الضوء .
و « الانتحاء المائى » نتيجة لتأثير الماء .

الانتحاء الضوئى Phototropism

تميل السيقان والسويقات الجنينية وبعض الأعضاء النباتية إلى النمو ناحية الضوء
متجهة اتجاهها ضوئياً موجبا . وعلى العكس تميل الجذور إلى النمو بعيدة عن الضوء
متجهة اتجاهها ضوئياً سالبا . ويحدث الانتحاء الضوئى الموجب نتيجة لوقف نمو

الجانب المضاء وزيادة نمو الجانب المظلم من العضو النباتي . ولقد أدت الأبحاث التي أجريت على الانتحاء الضوئي إلى معرفة الكثير عن الأوكسينات .



(شكل ٥٦)

رسم تخطيطي لبادرة مينا
أثر الإضاءة الجانبية في
الانتحاء الضوئي (الموجب
في الساق والسالب في الجذر)

وأول الأبحاث التي أجريت في هذا الصدد هي أبحاث Blaauw (١٩٠٩) حيث لاحظ انحراف بادرات الشوفان (الغير مضاءة Etulated) نحو مصدر من الضوء قوته ٠.٠٠٠١٧ شمعة . وقد فسر ذلك الانحراف بعدم تكافؤ النمو على جانبي البادرة المظلم والمضاء . وفي عام (١٩١٠) أوضح Boysen-Jensen أن الإضاءة الجانبية تسبب انتقال مادة النمو وتراكها على الجانب المظلم . وقد أكدت تجارب Went (١٩٢٨) نفس النتائج السابقة وأثبت عدم تساوي توزيع مادة النمو على جانبي البادرة المضاءة لإضاءة جانبية مما يؤدي إلى زيادة استطالة خلايا الجانب المظلم فتتحرف السويقة إلى جهة الضوء (شكل ٥٦) وقد أضاف Van Overbeek (١٩٣٣) إلى هذا التعليل أن انحراف السويقة إلى جهة الضوء إنما يسببه عاملان : الأول زيادة تركيز الأوكسين على الجانب المظلم والثاني شدة حساسية هذا الجانب للأوكسين .

وهناك عوامل كثيرة تؤثر على الانتحاء الضوئي . ومن بين هذه العوامل الطاقة الضوئية المستعملة عند إضاءة النباتات إضاءة جانبية . وتوقف كمية الطاقة الضوئية بدورها على عاملين هما : شدتها ومدتها . فعند إضاءة إحدى البادرات إضاءة جانبية مختلفة الشدة وعلى فترات تختلف في مدتها . فإنه يمكن إحداث انتحاء ضوئي بدرجة معينة عند استعمال قدر معين من الطاقة الضوئية . فمثلا تنحني سويقة بادرة الشوفان

عند تعريضها لمدة ٢٥ ثانية لضوء قدره شمع واحدة بنفس القدر الذى تتحنى به السويقة عند تعريضها لضوء قوته ٢٥٠٠٠ شمع لمدة ببليج من الثانية .

ولا بد لى يؤثر الضوء تأثيره الضوئى الكيماوى أن يسبق ذلك امتصاصه بواسطة بعض الأصباغ النباتية . وحيث أن الاوكسينات المعروفة حتى الآن مواد غير ملوثة . فإنها لا تمتص الضوء المرئى الذى يسبب الانتحاء . وقد أثبت كثير من الباحثين أن الضوء الازرق هو أكثر ألوان الطيف تأثيراً على الانتحاء الضوئى ، وقد وجد أن الاغلفة الورقية لبادرات الشوفان تحتوى على صفتين تمتصان الضوء الازرق بدرجة كبيرة مما دعى إلى الظن بأنها هى التى تقوم بامتصاص هذا اللون من الطيف فيحدث الانتحاء الضوئى . هاتان الصفتان هما الكاروتينات والفلافوبروتينات Flavoproteins . والمعتقد أن الكاروتينات ليس لها أى دخل فى إحداث الانتحاء الضوئى بدليل استجابة البادرات الحالية منها لتأثير الضوء وأن الاستجابة إنما ترجع إلى احتواء جميع البادرات بوجه عام على مادة الفلافوبروتينات والتى توجد بصفة خاصة فى الاغلفة الورقية للشوفان .

الانتحاء الأرضى Geotropism

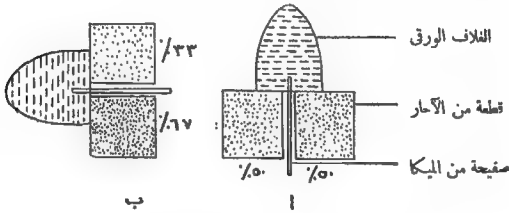
إذا وضعت بادرة نامية فى وضع أفقى مواز لسطح الأرض فإن الجزء السفلى لمنطقة النمو فى السويقة ينمو بدرجة أكبر من الجزء العلوى لها فتحنى منطقة النمو فى السويقة إلى أعلا ، بينما يحدث العكس فى جذير البادرة الذى ينمو سطحه العلوى بمعدل أكبر من سطحه السفلى فيحنى طرفه التامى إلى أسفل . (شكل ٥٧) وعلى ذلك فإن السويقات والسيقان ذات انتحاء أرضى سالب بينما يكون فى الجذور موجبا .



(شكل ٥٧)

الانتحاء الارضى (موجب فى الجذر وسالب فى الساق)

وقد أوضحت تجارب Herman Dolk (١٩٢٩ - ١٩٣٦) أن سبب الانتحاء الأرضي - كالاتحاء الضوئي - إنما يرجع إلى عدم تساوى توزيع الأوكسينات على جانبي البادرات . فقد قام باستخلاص وتقدير الأوكسين من الأغلفة الورقية للشوفان عندما كانت في الوضع الرأسى والوضع الأفقى ودلت تجاربه على تساوى كمية الأوكسين المستخلصة في الحالتين . إلا أن توزيعها على جانبي الغلاف الورقى اختلف اختلافا كبيرا . فبينما احتوى نصفي الغلاف في الوضع الرأسى على كميتين متساويتين من الأوكسين (٥٠ ٪ ٥٠ ٪) ، احتوى النصف العلوى منها على ٣٣ ٪ بينما احتوى النصف السفلى على ٦٧ ٪ من الأوكسين عندما كان الغلاف في الوضع الأفقى . أى أن ثلثي الأوكسين تراكم على النصف السفلى ولم يترك في العلوى إلا الثلث (شكل ٥٨) وكما في حالة الانتحاء الضوئي ، فإن عدم تساوى توزيع الأوكسين يسبب عدم تساوى نمو جانبي الغلاف الورقى وهذا يؤدي إلى الانحراف في الاجزاء النامية .



(شكل ٥٨) تركيز الأوكسين في نصفي الغلاف الورقى
عندما يكون في الوضع الرأسى (ا) والوضع الأفقى (ب)

وحيث أن استجابة الجذور لتركيزات عالية من الأوكسين تخالف استجابة السويقات لنفس التركيز ، وقد سبق أن أوضحنا أن تركيز الأوكسين الذى يسبب زيادة نمو السويقات والسيقان يعطل نمو الجذور، وعلى ذلك فعند وضع الجذر في وضع أفقى فإن بعض الأوكسين ينتقل من الجانب العلوى إلى الجانب السفلى فيزداد تركيزه في هذا الجانب - تماما كما في السويقات والسيقان - وحيث أن نمو الجذر يتعطل بالتركيزات

العالية من الاوكسين ؛ فإن الجانب العلوى المحتوى على تركيز منخفض من الاوكسين ينمو بمعدل أسرع من الجانب السفلى المحتوى على تركيز عال منه وينتج عن ذلك انحناء الجذر انحناءاً أرضياً موجباً .

أما إذا وضعت البادرة على قرص كلينوستات دأثر بحيث تبقى البادرة في وضع مواز لسطح الأرض أثناء دورانه ، فإن شكل البادرة لا يتغير فلا تميل الريشة إلى أعلا ولا يميل الجذر إلى أسفل وذلك لتساوى توزيع الاوكسينات على أجزاء البادرة المختلفة .

الانتحاء المائى Hydrotropism

يقصد بالانتحاء المائى تحرك واتجاه الجذور نحو مناطق التربة الأكثر تشبعاً بالماء ويمكن إثبات ذلك بالتجربة الآتية :

إذا أحضر أصيص كبير وملى بنشارة الخشب المبللة بالماء ثم وضع فى وسط الاصيص الكبير أصيص آخر صغير مسدود القاع ومملوء بالماء . وزرعت بعض بذور الفول فى نشارة الخشب المبللة بالماء وتركنا تثبت مدة من الزمن . ثم منع إمداد نشارة الخشب بالماء . تلاحظ أن المجموع الجذرى للبادرات المنزرعة يتجه نحو الاصيص الصغير المملوء بالماء ويحيط به من كل ناحية .



المراجع

- Barton - Wright, E. C. :
Recent Advances in Plant Physiology. 1933
General Plant Physiology. 1940
- Bonner, J. and Galston, A. W. :
Principles of Plant Physiology. 1950
- Boysen - Jensen, P. :
Growth Hormones in Plants. 1936
- Curtis, O. F. :
The Translocation of Solutes in Plants. 1925
- Curtis, O. F. and Clark, D. G. :
An Introduction to Plant Physiology. 1950
- Dixon, H. H. :
Transpiration and the Ascent of Sap in Plants. 1914
The Transpiration Stream. 1924
- Finter, F. B. :
An Introduction to Physical Chemistry. 1926
- Haas, P. and Hill, T. G. :
An Introduction to the Chemistry of Plant Products. 1921, 1922
- Harvey, R. B. :
Plant Physiological Chemistry. 1929
- Hatschek, E. :
An Introduction to the Physics and Chemistry of Colloids. 1925
- James, W. O. :
An Introduction to Plant Physiology. 1943
- Loomis, W. E. and Shull, C. A. :
Methods of Plant Physiology. 1937
- Maximov, N. A. :
The Plant in Relation to Water. 1920
- Miller, E. O. :
Plant Physiology. 1938
- Onslow, M. W. :
The Principles of Plant Biochemistry. 1931
Practical Plant Biochemistry. 1931

Osterhout, W. J. V. :

Experiments With Plants. 1908

Injury, Recovery and death, in Relation to Conductivity and Permeability. 1922

Said, H. :

Fundamentals of Plant Physiology. 1955

Steele, C. C. :

Introduction to Plant Biochemistry. 1934

Stiles, W. :

Permeability. 1924

Photosynthesis. 1925

An Introduction to the Principles of Plant Physiology. 1950

Stiles, W. and Leach, W. :

Respiration in Plants. 1932

Sumner, J. B. and Somer, G. F. :

Chemistry and Methods of Enzymes. 1947

Thomas, M. :

Plant Physiology. 1947

Went, F. and Thimann, K. V. :

Phytohormones. 1937

Willstatter, R. and Stoll, A.

Investigation on Chlorophyll. 1928



تصحیح الأخطاء

الصواب	الخطأ	السطر	الصفحة
permeable	permbeale	٢١	٢٤
<i>Chlorella</i>	<i>Chloeell</i>	١٢	١٤٦
فوسفات	فوسفات	١٢	١٥٩
٦ ١ ←	٦ ١ ←	٣	١٩٥

2
1f

Biblioteca Alexandrina



0282160